

“一带一路”气候报告：2023

中国气象局国家气候中心

2023 年

前言

“一带一路”（The Belt and Road，缩写 B&R）是“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”的简称，旨在借用古代丝绸之路的历史符号，秉承和平发展的理念以及共通、共享、共建的发展原则，积极发展沿线国家的经济合作伙伴关系，共同打造政治互信、经济融合、文化包容的利益共同体、命运共同体和责任共同体。

“一带一路”区域既是人类活动强烈区，又是生态环境脆弱区，沿线幅员辽阔、地貌多样、地形复杂、气候区域差异显著。既有热带季风气候、热带雨林气候、热带沙漠气候、海洋性热带季风气候，又有副热带季风气候、温带沙漠及草原大陆性气候、地中海气候、温带大陆性气候，还有高原山地气候、寒带气候等。沿线主要国家自然灾害类型多样，高温热浪、暴雨洪涝、沿岸洪水、台风、干旱等与天气和气候有关的自然灾害频繁，加之沿线不少国家经济欠发达，防灾减灾抗灾能力弱，气象灾害损失重，气候风险和气候安全问题值得高度重视。

本报告主要分为三个部分。第一部分分析“一带一路”基本气候概况，包括：2022 年的气温、降水和亚洲季风活动、植被生长状况、气候变化特点。第二部分揭示 2022 年主要极端天气气候事件和气象灾害事实，及气象灾害的时空变化特征。第三部分尝试基于现有数据给出区域未来气候变化趋势及主要气象灾害风险。本报告的编写，期望有助于了解“一带一路”区域的气候背景和 risk，提高区域内特别是发展中国家应对气候变化的能力。

报告中的“一带一路”区域，主要限于传统意义上的“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”沿线国家和地区，包括东亚（中国）、北亚（蒙古国、俄罗斯亚洲地区）、东南亚（新加坡、马来西亚、印度尼西亚、缅甸、泰国、老挝、柬埔寨、越南、文莱和菲律宾）、西亚（伊朗、伊拉克、土耳其、叙利亚、约旦、黎巴嫩、以色列、巴勒斯坦、沙特阿拉伯、也门、阿曼、阿联酋、卡塔尔、科威特、巴林、希腊、塞浦路斯和埃及的西奈半岛）、南亚（印度、巴基斯坦、孟加拉、阿富汗、斯里兰卡、马尔代夫、尼泊尔和不丹）、中亚（哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼

斯坦、塔吉克斯坦和吉尔吉斯斯坦)、独联体(俄罗斯、乌克兰、白俄罗斯、格鲁吉亚、阿塞拜疆、亚美尼亚和摩尔多瓦)和中东欧(波兰、立陶宛、爱沙尼亚、拉脱维亚、捷克、斯洛伐克、匈牙利、斯洛文尼亚、克罗地亚、波黑、黑山、塞尔维亚、阿尔巴尼亚、罗马尼亚、保加利亚和马其顿)等 60 多个国家或地区。

需要指出的是,由于区域内部分地区缺乏足够的观测数据,我们目前还难以提供更为准确或精细的数据分析信息。

报告编写组

2023 年 8 月

摘要

2022年,“一带一路”区域年平均气温南北差异较大。东南亚、南亚及西亚南部等地年平均气温为 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$,部分地区可达 30°C 以上,而高纬度的俄罗斯远东地区年平均气温普遍在 $-8\sim -2^{\circ}\text{C}$,部分地区低于 -12°C ;区域内年平均气温距平呈现“北部地区偏暖,南部接近正常”的空间分布。

2022年,区域年降水量的空间分布差异十分明显。太平洋及印度洋沿线地区降水量超过1500毫米,而亚欧大陆内部的中亚干旱区及中东热带沙漠气候区,年降水量甚至不足100毫米;区域内年降水量距平百分率的空间分布主要体现“西北少、东南多”的异常特征。

1981~2022年,区域内大多数地区的年平均气温表现为显著增长趋势,且不同时期、不同区域的气温变化速率也存在明显差异。中东欧地区年平均气温增长速度最高,为 $0.75^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,南亚和西亚的年平均气温增长率也超过 $0.50^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

1981~2022年,区域年降水量的变化趋势空间差异较大,其中东亚及中亚地区的年降水量为减少趋势,而东南亚、南亚、西亚和中东欧四个子区域的年降水量均为显著增加趋势。区域内降水量在不同时期、不同子区域的变化还存在明显的年代际差异。

与2019~2021年同期平均相比,2022年“一带一路”区域植被长势总体偏差,但空间分布不均,其中欧洲大部、俄罗斯北部和西部、西亚、中亚、东北亚植被长势偏差;而俄罗斯中部和西南部、中国南部、中南亚和南亚等地的植被覆盖度高,植被长势偏好。

“一带一路”区域是全球气象灾害发生最频繁的区域之一,沿线国家2022年主要天气气候事件有:暴风雪、暴雨洪涝、冰雹、龙卷、高温、干旱、台风、风暴等。1980~2022年共发生气象灾害4537次,占全球总次数的39.7%。灾害发生次数存在明显的增多趋势,相较前一个年代,1990~1999年增长速率最快,2000~2009年次之,而2010~2019年有所减少。从空间分布上看,西亚北非、中亚和中东欧的大部

分地区气象灾害发生次数大体偏少，而南亚及东南亚部分地区则台风、暴雨和洪涝等气象灾害发生次数较多。

区域内大多数国家为发展中国家，人口数量庞大，防灾救灾能力相对较弱，因气象灾害造成的经济损失较大。1980~2022年区域多年平均直接经济损失为214.7亿美元（2022年市值），占全球经济损失年均值的28.4%，且总体呈上升趋势。区域内因气象灾害造成的死亡人数年均约1.6万人，占全球的40%以上。其间以1990~1999年死亡人数最多（约2.5万人），1980~1989年最少（超0.8万人）。

未来“一带一路”区域年平均气温将持续上升，增温幅度在高纬度地区大于低纬度地区。到21世纪末，在低排放情景下，区域年平均气温的升温幅度将升高1~3℃；而在高排放情景下，将普遍升高5℃以上。未来区域内大部分地区年降水量增加，但具有明显的区域差异和情景依赖性。特别是到21世纪末期，西亚和北亚地区的降水会明显增加，而且在高排放情景下，增幅更为明显。

未来随着全球气候增暖的加剧，区域面临的极端气候事件发生的频率和强度可能增加，海平面升高、台风和风暴潮危害增大，生态环境总体可能呈恶化趋势，对沿线地区的环境和可持续发展等带来新的压力。

目录

前言	i
摘要	iii
1 气候状况	1
1.1 气候概况	1
1.2 2022 年气候	3
1.2.1 气温	3
1.2.2 降水	5
1.2.3 季风活动	8
1.3 近几十年气候变化	9
1.3.1 气温	9
1.3.2 降水	11
1.4 2022 年植被	12
2 极端天气气候事件与气象灾害	15
2.1 2022 年主要极端事件和气象灾害	15
2.2 近几十年气象灾害变化	19
2.2.1 时间变化	20
2.2.2 空间变化	22
3 未来气候风险	25
3.1 未来气候变化	25
3.1.1 气温	25
3.1.2 降水	27
3.2 未来气象灾害风险	27
3.2.1 高温	28
3.2.2 干旱	28
3.2.3 洪水、滑坡和泥石流	30
3.2.4 冰冻圈灾害	30

3.2.5 热带气旋.....	31
参考文献.....	32

1 气候状况

1.1 气候概况

在气象学上，“丝绸之路经济带”与北半球西风带高空急流位置相对应，这也被称为气象上的“丝绸之路”；“21世纪海上丝绸之路”与热带地区季节内振荡活动（即大气变化中存在30~60天的周期性振荡现象）传播范围基本一致。“一带一路”沿线气候类型复杂，既有热带季风气候、热带雨林气候、热带沙漠气候、海洋性热带季风气候，又有副热带季风气候、温带沙漠及草原大陆性气候、地中海气候、温带大陆性气候，还有高原山地气候、寒带气候等。

由于“一带一路”沿线气候和气候变化存在显著的地区差异，为了更好地了解不同地区的未来气候变化，本报告将“一带一路”区域划分为八个子区域：东亚（EAS），南亚（SAS），东南亚（SEAS），中亚（CAS），西亚（WAS），北亚（NAS），中东欧（CEU）和独联体欧洲区域（CIS）（图1）。

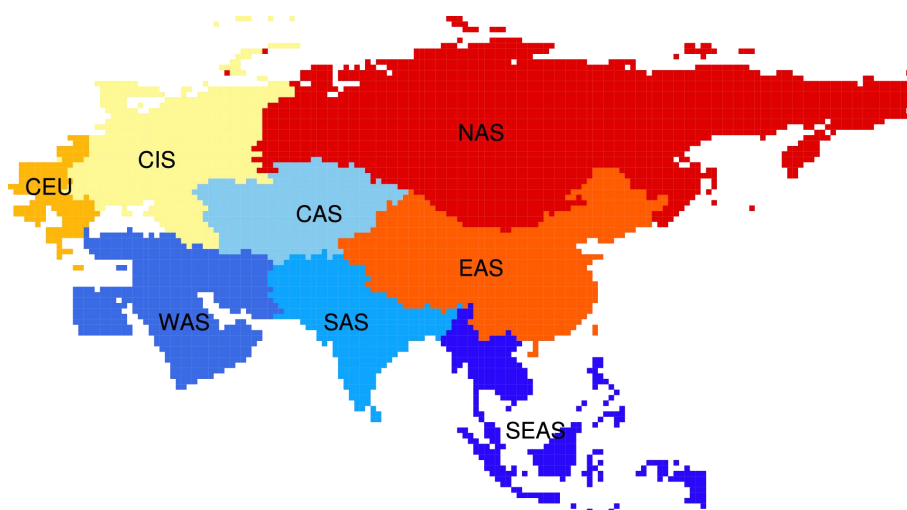


图1 “一带一路”区域八个子区域分布示意图

东南亚，中南半岛主要属热带季风气候，终年高温，年平均气温在20℃以上；年降水量在1000毫米以上，主要降水集中在雨季。马来半岛属热带雨林气候，终年高温多雨，月平均气温在25~28℃，年降水量在2000毫米以上。印度尼西亚属热

带雨林气候，年均气温 25 ~ 27℃，年降水量在 2000 毫米以上。菲律宾北部属海洋性热带季风气候，南部属热带雨林气候，气温通常介于 21 ~ 32℃ 之间，年降水量在 2500 毫米左右。东亚是世界上季风气候最典型的地区，其特点是夏季炎热多雨，冬季温和湿润，降水的季节变化和年际变化大。

南亚，大部分地区属热带季风气候，一年分热季、雨季和旱季，全年高温。一月该地区北部气温在 10 ~ 20℃ 之间，南部超过 20℃ 以上；七月大部分地区气温在 20 ~ 30℃ 之间，西北部高达 30℃ 以上。不同地区的年降水量差异很大，印度半岛西岸、恒河中下游及布拉马普拉特河流域和德干高原东北部等地年降水量在 2000 毫米左右，恒河上游及高原中部在 500 ~ 1000 毫米之间，印度河中下游及塔尔沙漠，年降水量在 500 毫米以下。

西亚，主要属热带沙漠气候和温带大陆性气候类型，全年高温多雨，年均温 26℃ 左右，年降水量约 2000 毫米，分配较均匀。全年处在赤道低压控制下，盛行赤道气团。有些地方受洋流影响而形成特例。

欧亚大陆腹地，属于典型的温带沙漠、草原大陆性气候，年降水量多在 100 ~ 400 毫米，总体呈东部和西部少、中部多的空间分布特征。乌兹别克斯坦和土库曼斯坦年降水量在 150 毫米以下，是中亚地区降水最少的国家。塔吉克斯坦是中亚最为湿润的地区，年降水量在 500 毫米左右。该地区的平均气温分布呈东部和西部高、中部低，在盛夏七月，除山区外平均气温一般在 26 ~ 32℃ 之间，而在一月，平均气温可达 -20℃。

中东欧地区，处在温带气候带，西部部分地区为温带海洋性气候，东部为温带大陆性气候。中欧地区气温适中，气温变化不大，冬季平均气温在 0℃ 左右，夏季平均气温为 20℃；该地区年降水量 500 ~ 1000 毫米。东欧距温暖的大西洋较远，全区最冷月气温在 0℃ 以下，夏季则因地处内陆，北部平原地区不足 20℃，南部地区超过 20℃；该地区年雨量约为 500 毫米，且由西向东递减。

非洲，主要可以分为热带雨林气候、热带草原气候、热带沙漠气候和地中海气候（夏季炎热干燥、冬季温和多雨）四个类型，呈明显的东西带状分布，且以赤道为中心，具有南北对称、季节相反的特点。这是由赤道横贯非洲中部，南北两部分所跨纬度大致相等和非洲所跨气压带、风带也大致南北对称所决定的。另外与地形上是一个起伏不大的高原大陆，缺少高大山地之阻挡，气候的垂直变化小，使非洲气温和降水的分布变化不大，地带性比较明显等也有关系。

“一带一路”区域既有雨量丰沛的热带雨林，又有极度干旱的荒漠、沙漠和异常寒冷的极地冰原。土地覆盖类型以森林、草地、农田和裸地为主，其中森林主要分布在亚寒带和热带，草地主要分布在亚洲中部的高原山地及俄罗斯北部，农田多分布在印度半岛、中南半岛、欧洲平原，裸地主要分布在亚非荒漠区和蒙古高原地区。森林、草地所占面积比例明显低于全球平均水平，农田、人造地表和裸地面积比例均高于全球平均水平，生态环境总体较为脆弱。

1.2 2022 年气候

1.2.1 气温

2022 年“一带一路”区域年平均气温南北差异较大，东南亚、南亚及西亚南部等地年平均气温为 25~30℃，部分地区可达 30℃ 以上，而高纬度的俄罗斯远东地区年平均气温普遍在 -8~-2℃，部分地区气温低于 -12℃（图 2a）。

北亚地区（North Asia, NAS），蒙古国除西北部和东北部的部分地区年平均气温低于 0℃，部分地区低于 -6℃，个别地区低于 -8℃ 外，其余大部地区年平均气温在 0℃ 以上，其中中部地区气温为 0~4℃，南部地区气温为 4~8℃，靠近我国内蒙古的部分地区可超过 8℃。俄罗斯远东地区年平均气温为 -12~-2℃，北方部分地区气温低于 -12℃；西伯利亚及乌拉尔地区西南部气温为 -4~4℃，东北部气温 -12~-2℃，北地群岛地区气温低于 -12℃；除新地岛及其以南部分地区气温低于 0℃ 外，西部地区年平均气温普遍在 0~4℃。

东亚地区（East Asia, EAS），中国华南地区南部年平均气温为 20~25℃，华北东部、黄淮、江淮、江汉、江南、华南地区北部、西南地区大部、内蒙古西部、新疆南部等地气温为 10~20℃，东北地区南部、华北西北部、西北地区东部等地 6~10℃，东北中部、内蒙古中部及新疆北部等地 6~10℃，东北北部及内蒙古东北部为 -2~4℃。青藏高原及其邻近地区，柴达木盆地气温 2~6℃，盆地中部气温 6~8℃；祁连山脉、唐古拉山脉、昆仑山脉、喜马拉雅山脉西段及高原西部大部地区气温 -10~0℃，其中喀喇昆仑山中部气温 -14~-12℃。

东南亚地区（Southeast Asia, SEAS），缅甸北部及东部、泰国西北部、老挝大部、越南大部、印度尼西亚西部、北部及东部、菲律宾北部、中南半岛南部、马来

群岛中部的气温平均为 20~25℃，东南亚其余地区的年平均气温普遍在 25~30℃。

南亚地区 (South Asia, SAS)，阿富汗东北部、印度北部、尼泊尔北部等邻近青藏高原西南侧的地区平均气温可低于 10℃，阿富汗中部、巴基斯坦西北部气温为 10~20℃，阿富汗的西南部、印度西北部及西南部局部、尼泊尔南部等地区的年平均气温普遍在 20~25℃，其余大部分地区的年平均气温为 25~30℃，其中印度西北局地以及巴基斯坦中部局地年均气温超过 30℃。

中亚地区 (Central Asia, CAS)，土库曼斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦西部及哈萨克斯坦南部为 10~20℃。哈萨克斯坦北部为 2~6℃，吉尔吉斯斯坦西部为 2~6℃。帕米尔高原附近高海拔地区普遍为 -8~-2℃，个别地区可低于 -8℃。

西亚地区 (West Asia, WAS)，西亚地区中部及南部的年平均气温为 25~30℃，其中沙特阿拉伯东南部及阿曼西部达 30℃ 以上。伊朗北部与西南部的年平均气温为 10~20℃，其余西亚北部的大部地区气温在 20~25℃ 之间。

独联体地区 (Commonwealth of Independent States, CIS)，南部年平均气温为 10~20℃，中部地区为 6~10℃，北部地区为 0~6℃。

中东欧地区 (Central Eastern Europe, CEU)，南部地区年平均气温为 10~20℃，北部地区为 8~10℃。

2022 年“一带一路”区域年平均气温距平总体呈现“北部地区显著偏暖，中部地区较为偏暖，南部接近正常”的空间分布 (图 2b)。气温显著偏高的区域主要位于北亚地区及独联体地区的北部，特别是西、中西伯利亚北部地区普遍偏高 2℃ 以上，喀拉海以南的部分地区偏高可达 4.5℃ 以上。气温较为偏高的区域主要位于中东欧、独联体地区的南部以及北纬 20° 以北至北纬 47° 以南的片区，涵盖了西亚中东部、中亚南部、青藏高原的中西部、中国西北地区的中西部，这些区域的增温普遍可达 1~2℃，其中青藏高原西部、中国的新疆南部及西北地区中部的部分区域升温在 2℃ 以上，高原西部的个别地区升温在 3℃ 以上。除此之外，中亚北部、北亚的贝加尔湖邻近地区、中国内蒙古东部、华北东部至东北中西部以及纬度相对较低的西亚西部、巴基斯坦东部、印度大部、中国的华南南部、马来群岛大部等地区的年平均气温整体接近常年同期。印度西北部、哈萨克斯坦东部及蒙古国西部的部分地区较气候平均态偏低，个别地区气温偏低幅度可达 1.5℃ 以上。

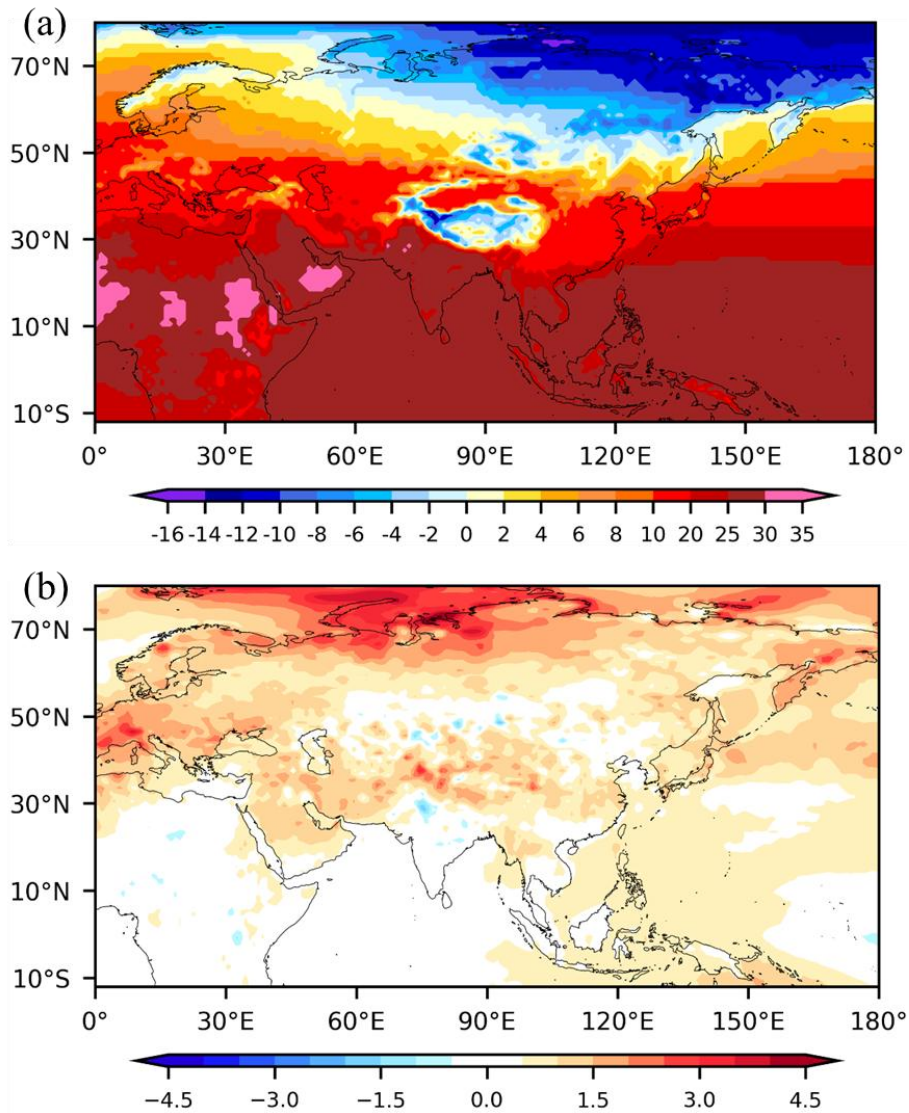


图2 “一带一路”区域2022年平均气温(a)及气温距平(b, 相对于1981~2010年)空间分布
(单位: °C, 基于CRA-LAND数据)

1.2.2 降水

2022年“一带一路”区域年降水量的空间分布差异十分明显,太平洋及印度洋沿线地区降水量超过1500毫米,而亚欧大陆内部的中亚干旱区及中东热带沙漠气候干旱区年降水量甚至不足100毫米(图3a)。

北亚地区(NAS),蒙古国南部地区年降水量小于200毫米;东北部地区年降水量达200~500毫米。俄罗斯远东地区南部年降水量为500~800毫米,北部为200~400毫米,其中东北部部分地区年降水量不足300毫米;西伯利亚及乌拉尔地区降水量在400~800毫米间,东部部分地区降水量可超过1000毫米;其余地区的年降

水量普遍在 500 ~ 800 毫米。

东亚地区 (EAS), 中国长江中下游及以南大部地区、西南地区东部和南部等地降水量普遍有 1000 ~ 2000 毫米, 其中江淮南部、江汉南部、长江中下游及华南南部部分地区超过 2000 毫米; 东北、华北、西北地区东南部、黄淮、江淮大部、江汉北部及内蒙古东北部、青海南部、西藏东部、四川大部、云南大部等地有 400 ~ 1200 毫米; 内蒙古中部、宁夏大部、甘肃中部、青海中部、西藏中部、新疆北部等地有 100 ~ 400 毫米; 新疆中南部、青海西北部、甘肃西部、内蒙古西部、西藏西部等地不足 100 毫米。

东南亚地区 (SEAS), 除缅甸中部的年降水量在 400 ~ 800 毫米外, 其余大部地区的年降水量普遍在 1000 ~ 1500 毫米, 其中老挝中部、越南大部、马来西亚、菲律宾大部等地的年降水量超过 2000 毫米。

南亚地区 (SAS), 阿富汗西南部的年降水量不足 200 毫米, 中东部降水量为 200 ~ 500 毫米。巴基斯坦南部降水量为 100 ~ 200 毫米, 中部 200 ~ 300 毫米, 东北部地区可达到 800 ~ 1000 毫米。印度西北部降水量普遍为 300 ~ 800 毫米, 东部地区 1000 ~ 1500 毫米, 局部地区超过 2000 毫米。尼泊尔大部地区降水量为 800 ~ 1500 毫米, 东南部可超过 1500 毫米。不丹至孟加拉国的大部地区降水量在 1500 ~ 2000 毫米, 孟加拉国东部可超过 2000 毫米。

中亚地区 (CAS), 哈萨克斯坦北部年降水量为 200 ~ 500 毫米, 乌兹别克斯坦西部及土库曼斯坦北部年降水量不足 100 毫米, 塔吉克斯坦及吉尔吉斯斯坦大部的年降水量在 400 ~ 600 毫米, 中亚其余地区的年降水量多为 100 ~ 200 毫米。

西亚地区 (WAS), 伊朗西部年降水量多为 300 ~ 500 毫米, 里海南部局地可超过 600 毫米, 伊朗中部至东南部年降水量不足 100 毫米, 伊朗其余区域降水量多在 100 ~ 200 毫米。沙特阿拉伯、埃及的大部分地区年降水量不足 100 毫米。西亚地区西北部降水普遍大于 300 毫米, 局部地区超过 800 毫米。

独联体地区 (CIS), 西北部年降水量为 400 ~ 500 毫米, 东北部个别区域降水量为 1000 ~ 1500 毫米, 其余地区降水量普遍在 500 ~ 800 毫米。

中东欧地区 (CEU), 年降水量普遍为 500 ~ 800 毫米, 其中西部降水量 800 ~ 1000 毫米。

2022 年“一带一路”区域年降水量距平百分率的空间分布整体上体现了“西北少东南多”的带状异常特征 (图 3b)。“一带一路”降水量偏少的区域主要分布在中

东欧、独联体北部、西西伯利亚地区、哈萨克斯坦北部、蒙古国中西部、远东地区东部、中国的新疆中东部、甘肃北部、内蒙古西北部、青藏高原中部、西亚的中部和东部，也门大部以及印度的东部，以上区域的年平均降水量较常年同期均偏少了10%以上，降水偏少的中心区域较常年可达到偏少20%~50%的程度，蒙古国中西部、中国的新疆中东部、甘肃北部、内蒙古西北部、西亚中东部和也门的部分地区降水量偏少幅度达到50%~80%。

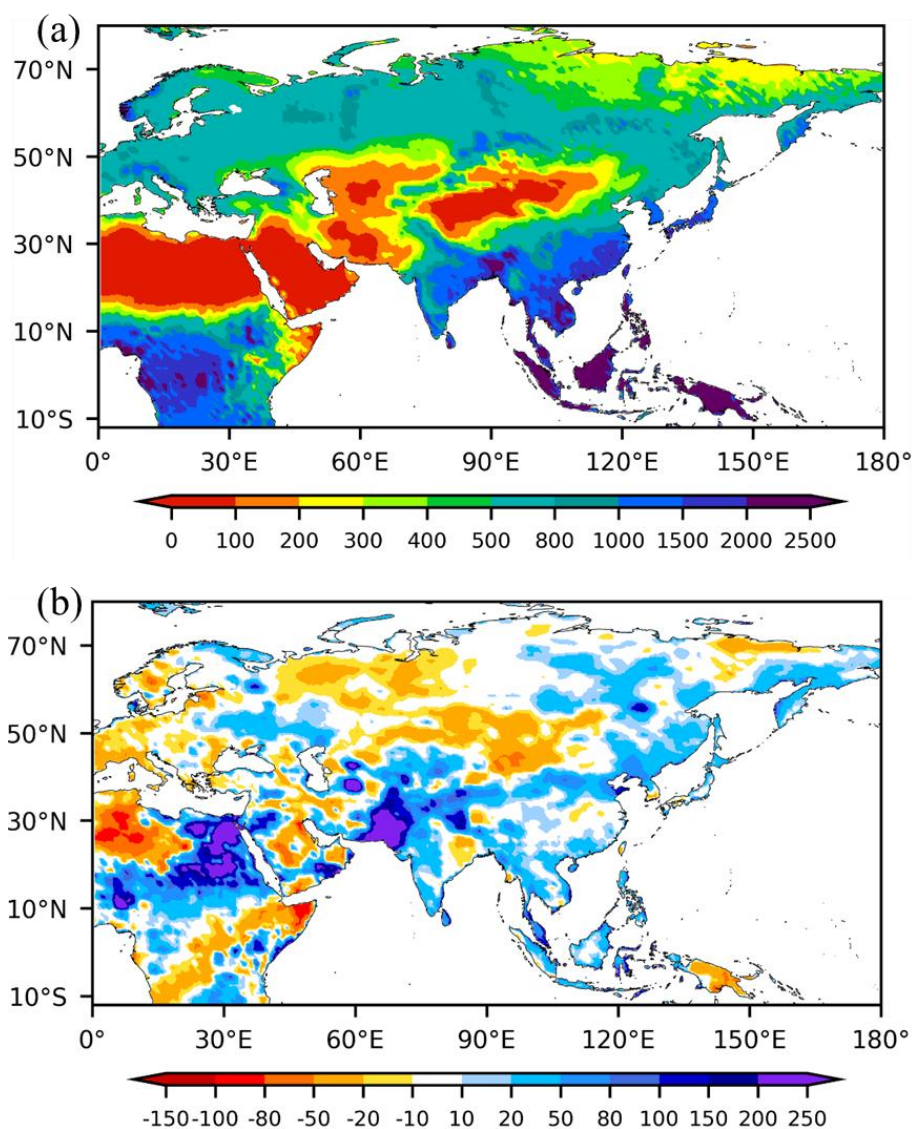


图3 “一带一路”区域2022年降水量(a, 单位: 毫米)及降水量距平百分率(b, 单位: %, 相对于1981~2010年)空间分布(基于CRA-LAND数据)

“一带一路”降水量偏多的区域主要分布在北亚的东南部、中国的东北地区、内蒙古中东部、华北地区、黄淮北部、西北中东部、新疆西部、青藏高原西部、华南南部、东南亚地区大部、印度的西部、南亚的西部至中亚的南部一线，西亚的沙

特阿拉伯西北部与埃及以及独联体的西北部与中部。以上区域的年降水量均较常年普遍偏多 20%~50%，降水偏多的中心区域可偏多 50%~80%，东西部利亚地区、中国胶东半岛、青藏高原西南部、西亚西北部、沙特阿拉伯的西北部部分地区年平均降水量较往年同期增多 1 倍以上，而乌兹别克斯坦西部、土库曼斯坦南部、阿富汗东南部、巴基斯坦的中部与南部、埃及的中部年降水量偏多可超过 2 倍或以上。

1.2.3 季风活动

2021/2022 年冬季，东亚冬季风偏强，强度指数为 0.49（图 4a）。冬季西伯利亚高压指数为 0.83，强度偏强（图 4b）。

2022 年南海夏季风于 5 月 3 候爆发，爆发时间较常年（5 月 4 候）略偏早 1 候；于 10 月 2 候结束，较常年（9 月第 6 候）偏晚 2 候。2022 年南海夏季风强度指数为 -1.38，强度偏弱（图 4c）。

2022 年东亚副热带夏季风强度指数为 -3.44，较常年异常偏弱，为 1951 年以来第三弱，仅次于 2020 与 1998 年（图 4d）。

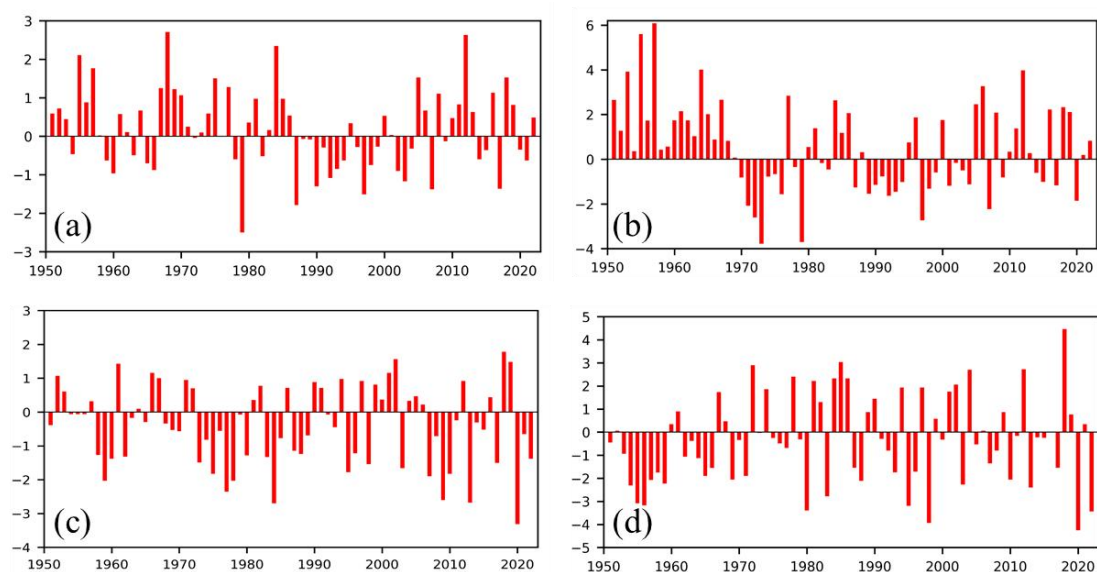


图 4 1951~2022 年东亚冬季风强度指数 (a)、西伯利亚高压指数 (b)、南海夏季风强度指数 (c) 和副热带夏季风强度指数 (d) 变化 (基于 NCEP 数据)

2022 年印度季风于 5 月 29 日抵达印度喀拉拉邦，较气候平均抵达日期（6 月 1 日）提早 3 天，于 7 月 2 日全面爆发，较气候平均日期（7 月 8 日）提早 6 天。9 月 20 日，印度季风开始从印度西北部撤退，较气候平均日期（9 月 17 日）延迟 3 天，并于 10 月 23 日全面撤出印度地区。

1.3 近几十年气候变化

1.3.1 气温

1981~2022年，中东欧地区年平均气温增长速度最高，为 $0.75^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，南亚和西亚两个地区的年平均气温增长率也超过 $0.50^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，而独联体地区总体上没有表现出显著的趋势性变化。

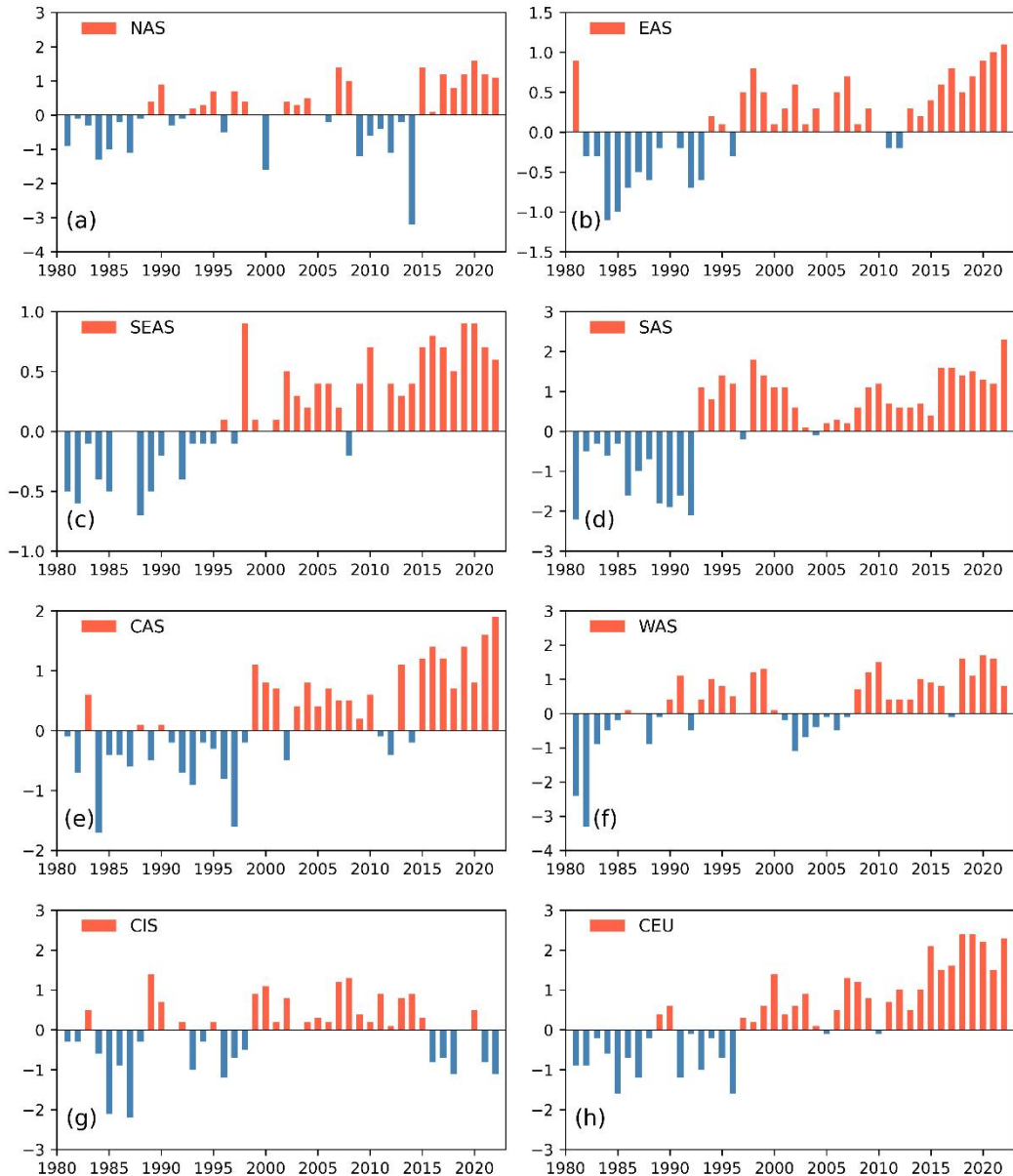


图5 1981~2022年“一带一路”区域各地区年平均气温距平变化(单位： $^{\circ}\text{C}$ ，相对于1981~2010年，基于GSOD-Global Surface Summary of Day Data数据)

1981~2022年，北亚地区的年平均气温以 $0.25^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著升高(图5a)；

东亚地区气温以 0.29℃/10a 的速率显著升高,近 20 年有近 90%的年份年平均气温接近或超过气候平均值 (图 5b); 东南亚地区气温以 0.29℃/10a 的速率显著升高,近 20 年内除 2008 年气温偏低外,其他年份的年平均气温均接近或超过气候平均值 (图 5c); 南亚地区气温以 0.67℃/10a 的速率显著升高,自 1993 年以来仅有 2 年的平均气温低于气候平均值 (图 5d); 中亚地区气温以 0.46℃/10a 的速率显著升高,近 20 年有 80%的年份年平均气温接近或超过气候平均值 (图 5e); 西亚地区气温以 0.50℃/10a 的速率显著升高,2010 年后仅有 2017 年气温低于气候平均值 (图 5f); 独联体地区气温无明显变化趋势,但近 20 年有 75%的年份年平均气温接近或超过气候平均值 (图 5g); 中东欧地区气温以 0.74℃/10a 的速率显著升高,近 20 年有 90%的年份年平均气温接近或超过气候平均值 (图 5h)。

虽然“一带一路”区域内大多数地区的年平均气温为显著增长趋势,但在不同时段、不同区域的气温变化速率也存在明显差异。大体可以 2000 年为界划分为 P1 (1981~2000 年) 和 P2 (2001~2022 年) 两个时期。总体来看,东亚、东南亚、南亚及西亚地区在 P1 时段的升温率相对更高; 北亚、中亚、中东欧在 P2 时段升温率更高; 而独联体在 P2 时段呈现降温趋势 (表 1)。

表 1 “一带一路”区域不同时段年平均气温变化速率

地区	变化速率 (°C/10a)	
	P1 (1981~2000 年)	P2 (2001~2022 年)
北亚	0.35	0.44*
东亚	0.40*	0.31*
东南亚	0.37*	0.29*
南亚	1.48*	0.67*
中亚	0.23	0.58*
西亚	1.43*	0.94*
独联体	0.42	-0.57*
中东欧	0.65*	0.96*

*表示该趋势通过了 90%水平的显著性检验

1.3.2 降水

1981~2022年，“一带一路”区域年降水量变化趋势的空间差异较大，其中东亚及中亚地区的年降水量趋于减少，而其他地区年降水量趋于增加。

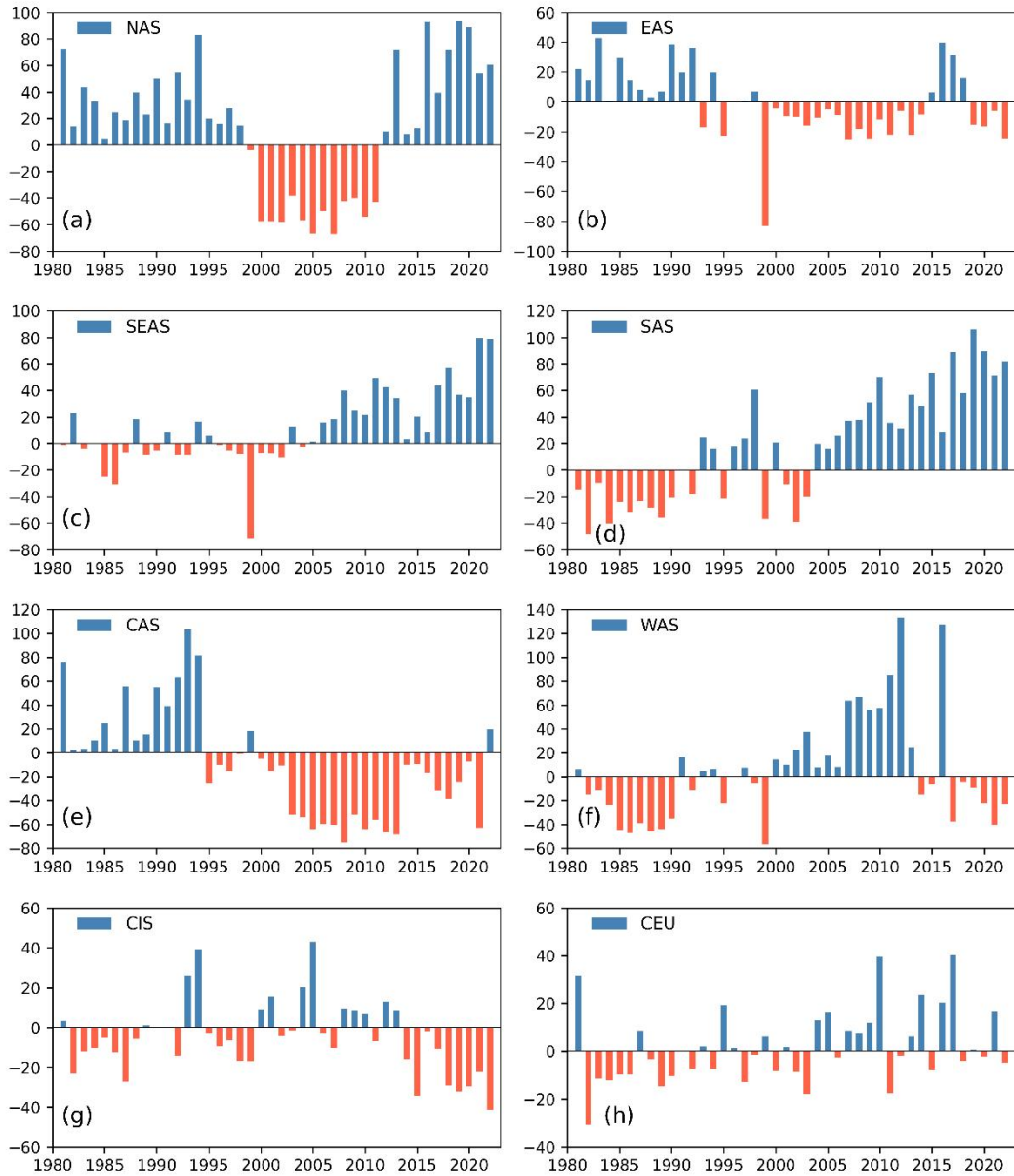


图6 1981~2022年“一带一路”区域各地区年降水量距平百分率变化(单位:%,相对于1981~2010年,基于GSOD-Global Surface Summary of Day Data数据)

1981~2022年,北亚地区年降水量线性趋势不显著,但近10年的年降水量均高于气候平均值;东亚地区年降水量以-6.83毫米/10a的速率减少,2000年起有超过80%的年份年降水量低于气候平均值(图6b);东南亚地区的年降水量以15.14毫米/10a的速率显著增加,近20年有85%的年份年降水量超过气候平均值(图6c);南

亚地区的年降水量以 29.02 毫米/10a 的速率显著增加, 近 20 年仅有 2003 年的降水量低于气候平均值(图 6d); 中亚地区的年降水量以-22.35 毫米/10a 的速率显著减少, 近 20 年仅有 2022 年的年降水量超过气候平均值(图 6e); 西亚地区的年降水量以 12.93 毫米/10a 的速率显著增加, 近 20 年有 60%的年份年降水量超过气候平均值(图 6f); 独联体地区年降水量的线性趋势不显著, 近 10 年有 90%的年份年降水量低于气候平均值(图 6g); 中东欧地区的年降水量以 4.25 毫米/10a 的速率显著增加, 近 20 年有 60%的年份年降水量超过气候平均值(图 6h)。

“一带一路”区域的降水量在不同时期、不同区域的变化还存在明显的年代际差异。北亚地区年降水量呈现明显的年代际变化特征, 1981~1998 年时段北亚地区的年降水量呈现明显偏多; 1999~2011 年时段北亚地区的降水量均低于气候平均值, 处于偏少阶段; 2012 年起北亚地区年降水量再度进入偏多阶段, 近十年的年平均降水量全部高于气候平均值, 主要呈现“多-少-多”的年代际变化特征(图 6a); 东亚地区年降水量在 1981~1992 年时段降水以偏多为主, 1993 年后(特别是 1999 年以来)整体降水偏少显著; 东南亚地区与南亚地区在 1981~2004 年时段的年降水量以偏少为主, 而在 2004~2022 年转为降水偏多时期; 中亚地区在 1981~2000 年时段的年降水量以偏多为主, 而在 2000 年之后转为降水偏少时期; 西亚地区的年降水量呈现“少-多-少”的年代际变化特征, 在 1981~1999 年时段降水以偏少为主, 2000~2013 年时段降水均偏多, 而 2013 年之后降水重新转为偏少; 独联体地区的年降水量在 1981~1992 年时段降水以偏少为主, 1992~2013 年时段降水主要以年际振荡为主, 2013 年后再次转为降水偏少时期; 中东欧地区在 1981~2003 年时段的年降水量以偏少为主, 而在 2003~2022 年降水呈现以偏多为主的特征(图 6)。

1.4 2022 年植被

FY3D 卫星遥感数据监测显示, 2022 年“一带一路”区域植被长势空间分布不均, 欧洲大部、俄罗斯南部和西部、东亚、东南亚、南亚等地植被长势较好, 植被指数普遍在 0.5 以上, 其中欧洲西部部分地区、南亚和东南亚部分地区、中国南方部分地区植被指数值较高, 达 0.7 以上。而中亚大部、东亚西北部、西亚大部、俄罗斯东部和北部大部等地植被长势相对较差, 植被覆盖度低, 植被指数普遍在 0.35 以下, 其中东亚西北部、中亚大部、西亚大部、俄罗斯北部等地植被指数明显偏小,

普遍在 0.2 以下 (图 7a)。

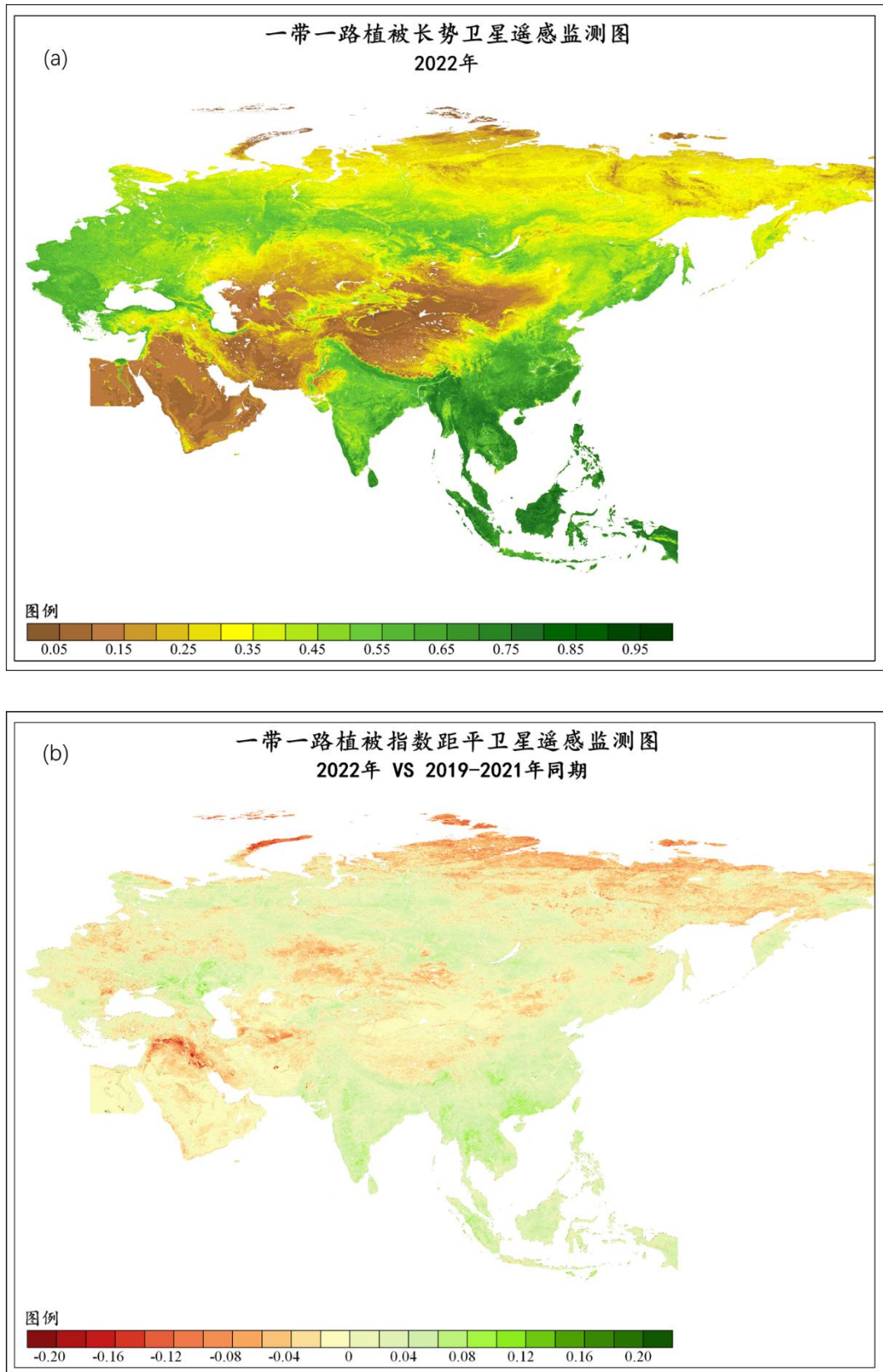


图 7 2022 年“一带一路”区域归一化植被指数 (a) 及距平 (b, 与 2019~2021 年同期相比) 空间分布 (基于 FY3D 卫星数据)

与前3年相比，2022年“一带一路”区域大部地区植被指数偏低，植被长势偏差。其中欧洲大部、俄罗斯北部和西部、西亚、中亚、东北亚等地植被指数偏低0.02~0.04，上述部分地区偏低0.04~0.12，植被长势偏差；而俄罗斯中部和西南部、中国南部、东南亚和南亚等地的植被指数偏高，偏高0.04以下，部分地区偏高在0.04~0.8，植被长势偏好（图7b）。

2 极端天气气候事件与气象灾害

2.1 2022 年主要极端事件和气象灾害

“一带一路”沿线国家气候各异，部分区域更是极端事件频发的地区，如南亚和东南亚，台风、热带风暴经常光顾，夏季暴雨洪涝、雷电及山洪、泥石流、滑坡等次生灾害频发，对人民生命造成极大威胁，使经济遭受巨创。2022 年主要极端天气气候事件和气象灾害有：暴风雪、暴雨洪涝、冰雹、龙卷、高温、干旱、台风、风暴等（见图 8）。频发的气象灾害，受到了包括新闻媒体在内的社会各界的广泛关注。

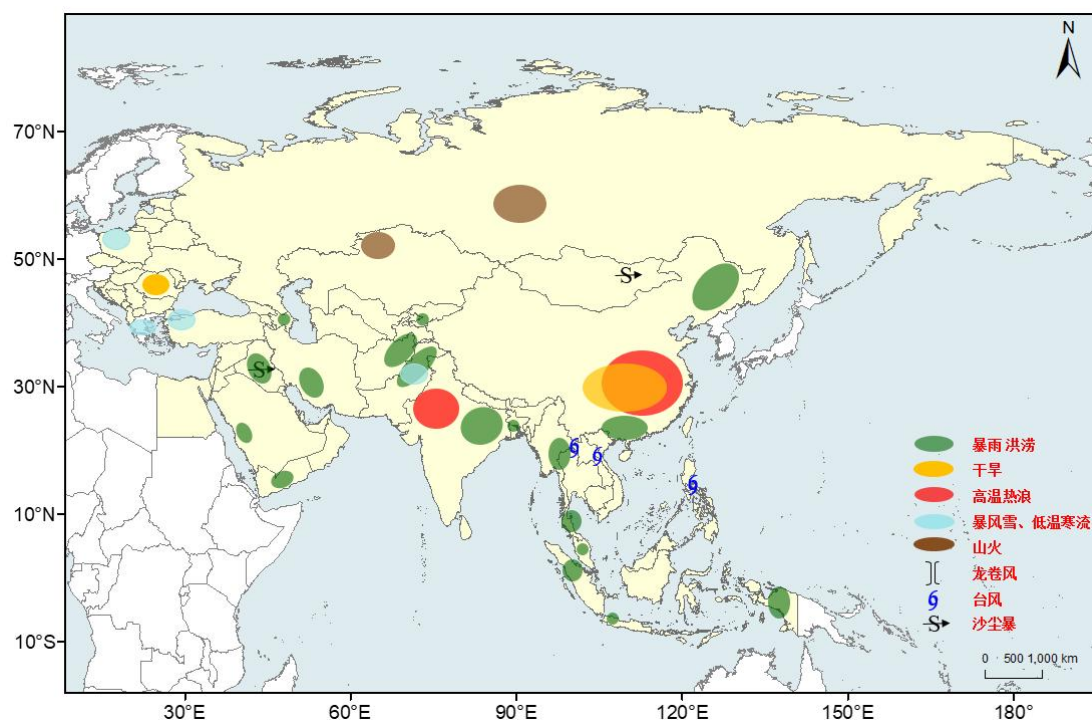


图 8 2022 年“一带一路”区域主要极端天气气候事件及气象灾害

(资料来源：主要据新闻媒体报道整理)

(1) 东亚

东亚是世界上季风气候最典型的地区，夏季炎热多雨，冬季温和湿润，降水的季节变化和年际变化大，极端天气气候事件多发频发。

2022年，中国暴雨过程频繁，春末夏初龙舟水强袭珠江流域，平均降水量达到440毫米，较常年同期偏多53%，为1961年以来历史同期第2多。广东、广西多地出现城乡积涝，给交通及农业生产等带来不利影响。6~7月东北地区雨日多、雨量大，东北三省平均降水量（334.1毫米，偏多39%）为1961年以来历史同期第二多，松辽流域现汛情；8月中下旬四川、青海等局地短时强降雨引发山洪，致灾重。

2022年夏季，中国中东部出现1961年以来最强高温过程，有361站（占全国总站数14.9%）日最高气温达到或超过历史极值，重庆北碚连续2天日最高气温达45℃；高温结束时间晚，南方“秋老虎”天气明显。

区域性和阶段性干旱明显，中国南方夏秋连旱影响重。8月18日至11月16日，中央气象台和国家气候中心联合发布气象干旱黄色、橙色气象干旱预警90期。此次干旱过程影响遍及川渝至长江中下游地区，其过程强度、最大范围、单日最大强度和范围以及重旱、特旱站数比例等指标均为历史第1强（多）。持续高温干旱对中国长江流域及其以南地区农业生产、水资源供给、能源供应、生态系统平衡及人体健康产生较大影响。

(2) 北亚

4月9日，蒙古国遭受人春以来最大的强沙尘暴天气。18日在该国东部东方省哈拉哈高勒县和苏赫巴托尔省达里甘嘎县发生的草原大火，2022年以来，蒙古国共计发生森林草原火灾20余次，同比增长31.8%。

俄罗斯大部地区异常偏暖，尤其是西伯利亚地区。2022年5月，俄罗斯西伯利亚南部因大风引发火灾，造成5人死亡。克拉斯诺亚尔斯克边疆区发生森林火灾，造成19人受伤。

(3) 东南亚

东南亚是台风、暴雨洪涝、高温热浪等自然灾害频发地区，例如菲律宾平均每年遭受20场台风或热带风暴袭击。

2022 年以来，泰国一直遭遇暴雨洪涝影响。2022 年 2 月 23~27 日，泰国陶公府、洛坤府及北大年府连日遭到强降雨袭击，数百个村庄上万户家庭受到影响，逾 2.1 万人受灾；4 月，暴雨导致泰国南部地区洪水泛滥，已有 7 个村庄的 270 户家庭受灾；8~9 月，受台风“木兰”及“奥鹿”影响，泰国北部、东北部遭受强降雨和洪涝灾害并造成 1 人死亡，2 人受伤，数千户居民受影响。10 月上旬，泰国和柬埔寨遭遇强降水造成泰国 13 万户家庭受到影响以及柬埔寨 16 万公顷稻田受灾。

受 16 号台风“奥鹿”影响，老挝和越南广南省、嘉莱省、崑嵩省在内的多地变电站遭到损坏，出现停电，影响范围超过 22 万户居民。截至 9 月 30 日，台风“奥鹿”在越南造成 3 人死亡，62 人受伤，3 人失踪。

菲律宾位于西太平洋台风带，常年遭受台风影响。4 月 11 日，热带风暴“鲑鱼”在菲律宾登陆后引发洪水和山体滑坡，截止至 4 月 21 日，已造成至少 224 人死亡，147 人失踪，超过 200 万人受灾。8 月下旬至 10 月下旬，菲律宾遭受多个台风影响，8 月 26 日，台风“马鞍”影响菲律宾 4.7 万余人，造成 3 人死亡，4 人受伤，30 所房屋被毁。9 月 25 日 17 时 30 分左右，第 16 号超强台风“奥鹿”在菲律宾北部奎松省布尔德奥斯市（Burdeos）登陆，随后给吕宋岛多地带来强降雨和大风，造成 10 人死亡，8 人失踪，受灾人口逾 15 万。10 月 29 日，今年第 22 号台风“尼格”袭击菲律宾，已造成至少 98 人死亡，63 人失踪，超 180 万人受灾。12 月下旬，菲律宾多地强降雨，造成至少 32 人死亡，24 人失踪，11 人受伤，48.6 万人受灾，造成农业方面的损失超过 2 亿比索。

12 月中下旬，马来西亚首都吉隆坡以北 50 公里处云顶高原附近发生山体滑坡，造成至少 31 人死亡。

2022 年上半年，印尼多次发生山体滑坡，1 月 7 日，印尼巴布亚首府发生洪水和山体滑坡，已致 6 人死亡，2 人受伤。2 月 25~26 日，印度尼西亚奇省东部连降大雨，并引发洪水，附近数十个村庄的数千名民众被迫撤离家园。3 月 21 日，印尼中爪哇省芝拉扎地区的三个分区发生洪水，有 108 个家庭的 424 人流离失所。4 月 28 日，印尼北苏门答腊一非法金矿遭遇山体滑坡，造成 12 人死亡，2 人受伤。

(4) 南亚

南亚是高温热浪、暴雨洪涝、滑坡泥石流等次生灾害等自然灾害频发地区。印

度每年 6~9 月是季风雨季,暴雨和雷击等极端天气频繁发生,常引发洪水及泥石流、山体滑坡等次生灾害。

1 月上旬,巴基斯坦北部开普省遭遇极端雨雪天气,大雪和山体滑坡导致该省部分路段被关闭,造成至少 10 人死亡,13 人受伤。

4 月,南亚地区出现极端高温。印度西北部和中部遭遇了 122 年来最热的 4 月,平均最高气温分别达到 35.9℃ 和 37.8℃。印度西部马哈拉什特拉省 25 人因中暑死亡,高温加剧了印度的电力危机,并导致部分农产品因供应短缺而价格上涨。

5 月上旬,阿富汗 10 多个省因暴雨引发洪水灾害,洪水冲毁约 100 所房屋,淹死 100 多头牲畜,造成 20 人丧生、30 人受伤。

5 月 15~16 日,印度首都新德里遭遇高温天气,部分地区气温超过 49 摄氏度,20 多人疑似中暑身亡。

印度和孟加拉国在季风季节的不同阶段发生了严重的洪水,印度东北部有 600 多人死于洪水和山体滑坡,另有 900 人死于雷暴灾害。

6~8 月,巴基斯坦频繁遭遇强降水袭击。巴基斯坦全国平均降水量 6 月偏多 68%,7 月偏多 180%,8 月偏多 243%,其中 7 月和 8 月降水量均为 1961 年以来历史同期最多。信德省受灾尤其严重,8 月降水量高达 1228.5 毫米,最大日降水量达 355 毫米,均创下月和日降水量最高纪录。持续强降水导致巴基斯坦约三分之一国土被淹没,超 3300 万人受影响,近 1700 人死亡;主要农作物棉花有 45% 被洪水冲毁,水果、蔬菜和大米等也遭受巨大损失,食品价格上涨了 29%,据估计洪涝灾害造成的经济损失近 700 亿人民币。

7~8 月,阿富汗多个省份,尤其是东部省份,因连续多日暴雨引发洪水灾害,造成 170 人死亡,250 人受伤,至少 3000 栋房屋全部或部分被毁。

(5) 西亚

伊朗因连日暴雨发生洪涝灾害。7 月 23 日,伊朗南部法尔斯省埃斯塔赫班市等地发生洪水灾害,已造成 80 人死亡,30 人失踪。

伊拉克多次遭遇沙尘暴侵袭。5~6 月,伊拉克一个多月遭遇 9 次沙尘暴,造成 1 人死亡,超 5000 人因呼吸系统疾病在医院接受治疗。

土耳其和希腊接连出现暴风雪天气。3 月上旬末至中旬前期,土耳其、希腊等

国接连出现暴风雪天气，造成土耳其首都伊斯坦布尔累计取消航班 400 余架次，多所学校被迫关闭。

伊拉克、也门和沙特阿拉伯遭遇特大暴雨。8 月 9 日，也门持续暴雨引发洪水，造成 106 人死亡，2864 幢房屋受损。8 月 21 日，伊拉克卡尔巴拉市因暴雨导致山体滑坡造成 4 人死亡，6 人受伤。11 月 24 日，沙特阿拉伯第二大城市吉达遭遇罕见的暴雨天气，导致 2 人死亡。

(6) 中亚

哈萨克斯坦北部科斯塔奈州发生森林火灾。9 月 5 日，哈萨克斯坦北部科斯塔奈州发生森林火灾，造成 1 人死亡、10 人受伤，受灾面积达 4.3 万公顷。

吉尔吉斯斯坦遭遇泥石流。5 月 6 日，吉尔吉斯斯坦南部千余人因泥石流疏散，泥石流淹没了 229 所房屋和一所学校。在贾拉拉巴德州苏扎克地区的两个村庄，606 所房屋和一些公共设施被淹。

(7) 独联体

6 月 11 日，阿塞拜疆达什克桑地区发生了大规模泥石流灾害，导致一座桥梁和一段公路被冲毁，数辆汽车被冲入河中。

(8) 中东欧

波兰等多国遭受强风侵袭。2 月中旬，波兰西北部遭受风暴侵袭，造成 4 人死亡、6 人受伤全国大量居民家中电力供应中断，最多时有超过 120 万人家中停电。

干旱威胁罗马尼亚粮食产量。8 月 18 日，罗马尼亚大部分地区遭受干旱，受灾耕地面积超 37.5 万公顷。

2.2 近几十年气象灾害变化

“一带一路”区域自然地理环境复杂，气候多样，气象灾害类型多、分布广泛、活动频繁、危害损失严重。根据 2000~2019 年全球气候风险指数排名(Eckstein et al., 2021)，前十个因气象灾害受灾严重的国家中，“一带一路”沿线国家占了六个。暴

雨洪涝、台风、暴风雪和低温严寒、高温热浪、干旱、沙尘暴等灾害的时空分布及变化具有明显的地域性特征。

2.2.1 时间变化

“一带一路”区域是全球气象灾害发生最频繁的区域之一，1980~2022年共发生气象灾害4537次，年均106次，占全球总次数的39.7%，2005年“一带一路”区域气象灾害发生次数最多，有191次（图9）。此外，“一带一路”区域气象灾害发生频次不断增多，其中1990~1999年增长速率最快，相对于上个年代增长了86.7%，2000~2009年相较上个年代增加了63.5%，但2010~2019年相较上个年代有所减少，降低了8.7%。

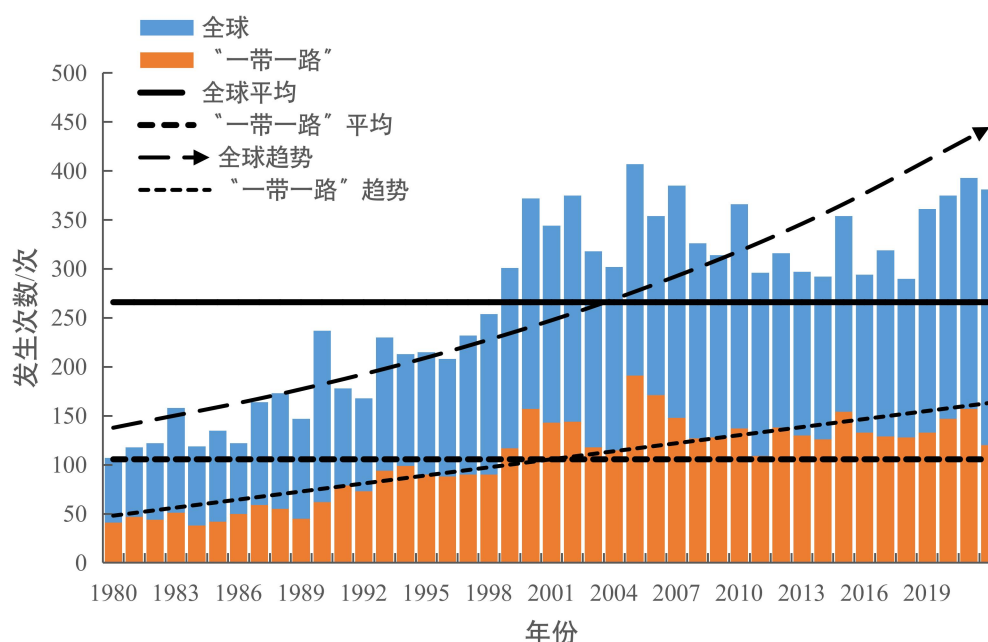


图9 1980~2022年全球及“一带一路”区域气象灾害发生次数变化 (数据来源于EM-DAT)

“一带一路”区域大多数国家为发展中国家，经济发展水平相对较低，防灾救灾能力相对较弱，因气象灾害造成的经济损失较大。1980~2022年“一带一路”区域多年平均经济损失为214.7亿美元(2022年市值)，占全球经济损失年均值(756.5亿美元)的28.4%(图10)。经济损失同样呈上升趋势。其中2020年经济损失最高，为596.4亿美元，占当年全球气象灾害总损失的37.3%。按年代划分，则以2010~2019年平均经济损失最高，均为409.3亿美元，其次为1990~1999年和2000~2009年。

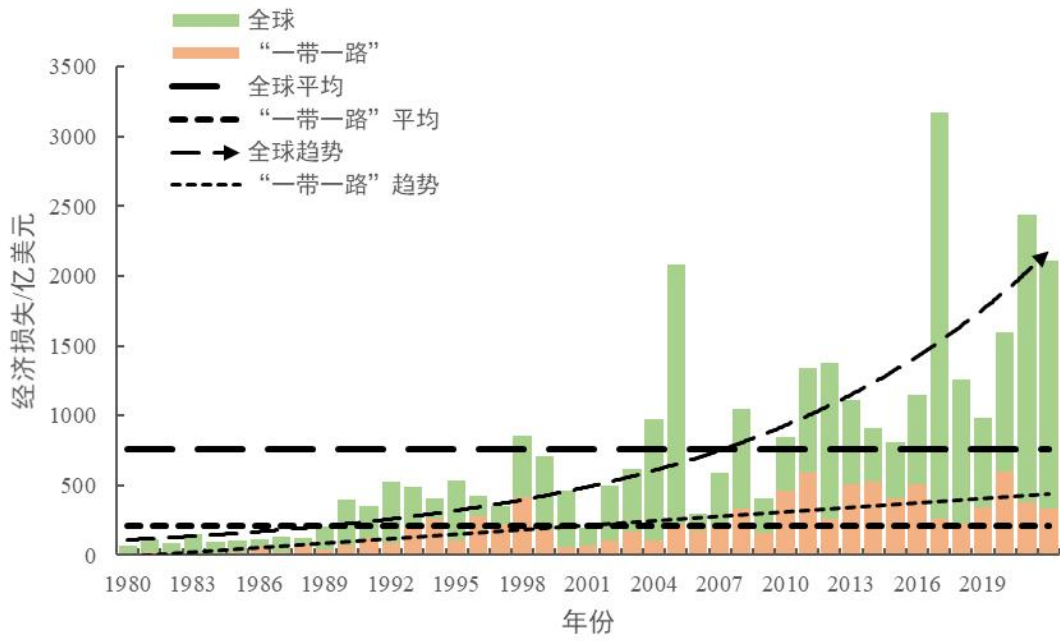


图 10 1980~2022 年全球及“一带一路”区域气象灾害直接经济损失变化 (数据来源于 EM-DAT)

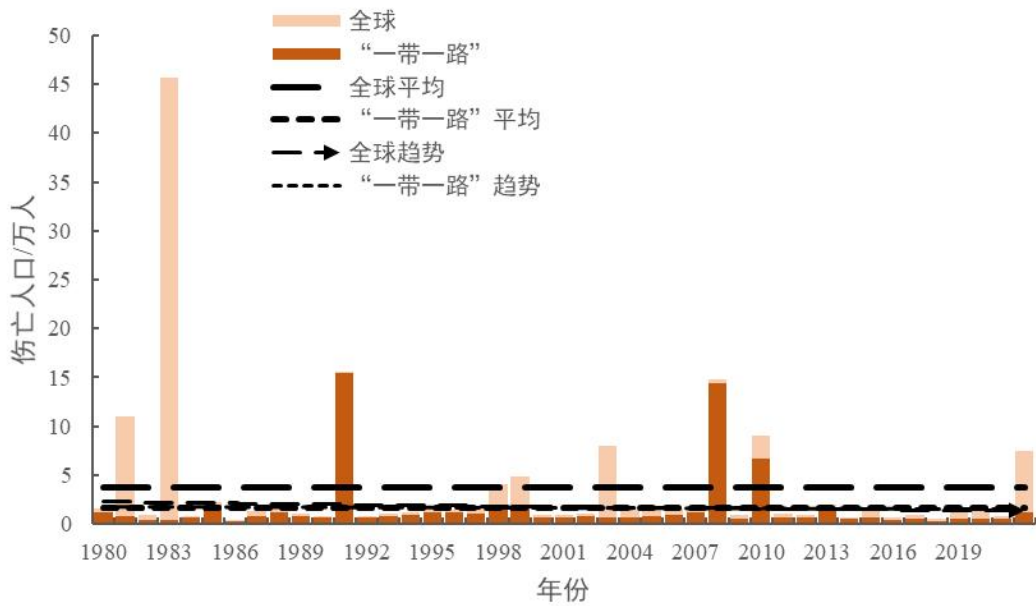


图 11 1980~2022 年全球及“一带一路”区域气象灾害导致的死亡人数变化 (数据来源于 EM-DAT)

“一带一路”区域因气象灾害造成的死亡人数多，占全球比重高，对民生影响大。1980~2022 年多年平均死亡人数约 1.6 万人，占全球总死亡人数的 40%以上。其中，1991 年气象灾害死亡人数最多，超 15 万人，占当年全球气象灾害总死亡人数的 98.9% (图 11)。由于区域人口数量庞大，总体经济水平比较低，防灾、减灾、救灾能力相对薄弱，使得灾害抵御能力远低于全球其它区域。按年代划分，1990~

1999 年年均死亡人数最多，为 2.5 万人；1980~1989 年最少，超 0.8 万人。每遇重大气象灾害，死亡人数往往突增，例如 1991 年孟加拉国受飓风和洪水灾害侵害，以及 2008 年东南亚遭受超强台风“纳吉斯”侵袭，均导致了重大人员伤亡。

2.2.2 空间变化

1980~2022 年，“一带一路”区域气象灾害平均发生次数超过 10 次的国家为中国、印度和菲律宾；中国平均每年超过 15 次，3 个国家发生次数之和占“一带一路”区域总发生次数的 35%以上（图 12）。

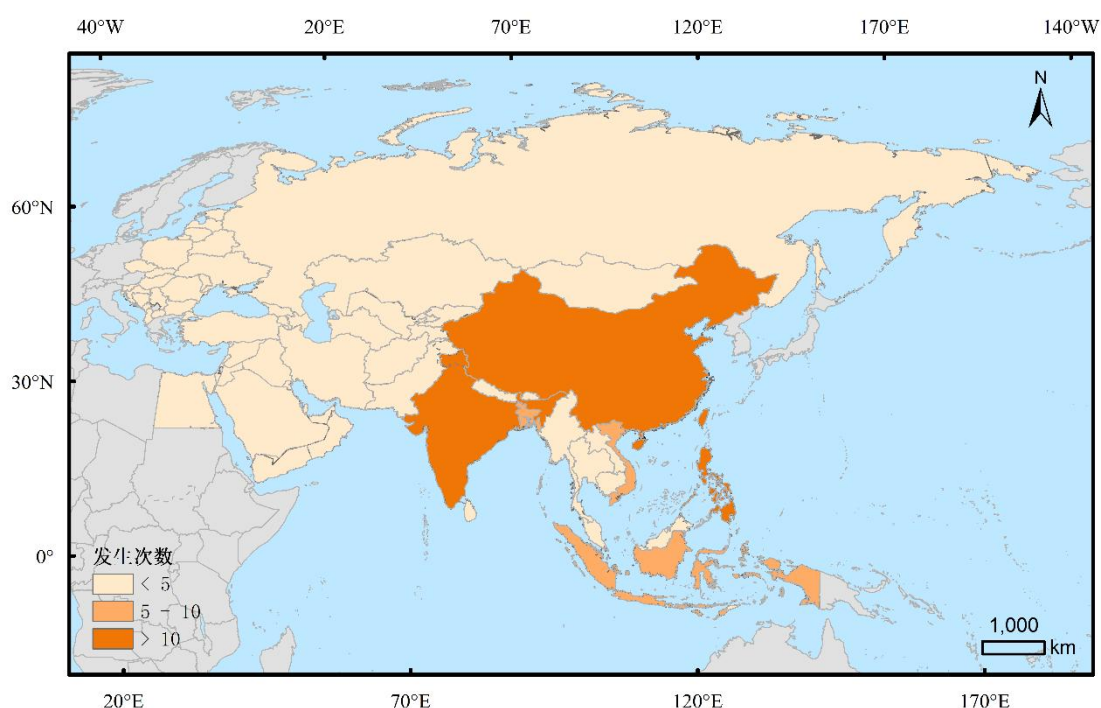


图 12 1980~2022 年“一带一路”区域多年平均气象灾害平均发生次数分布图（数据来源于 EM-DAT）

从经济损失来看，中国多年平均气象灾害经济损失最多，超过 100 亿美元，占“一带一路”区域总数的 50%以上；其次为印度和泰国，年均经济损失均超过 10 亿美元（图 13）。从伤亡人口来看，孟加拉国、缅甸和印度多年平均伤亡人数最多，年均伤亡人口均超过 2000 人（图 14）。

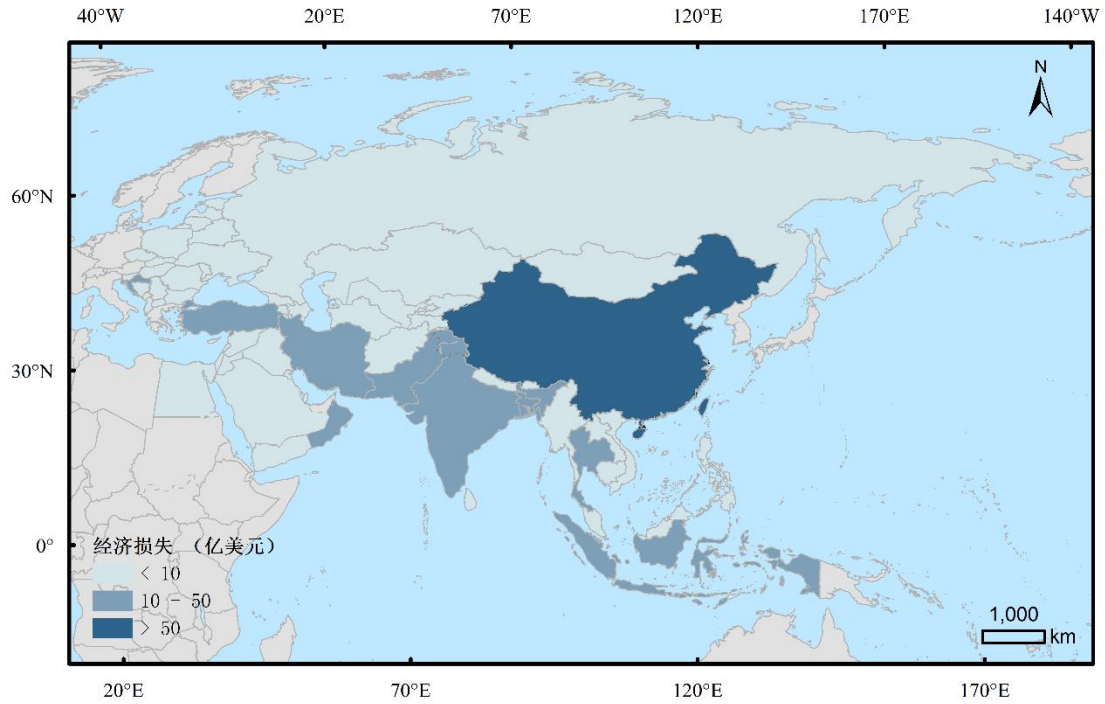


图 13 1980~2022 年“一带一路”区域多年平均气象灾害经济损失空间分布（数据来源于 EM-DAT）

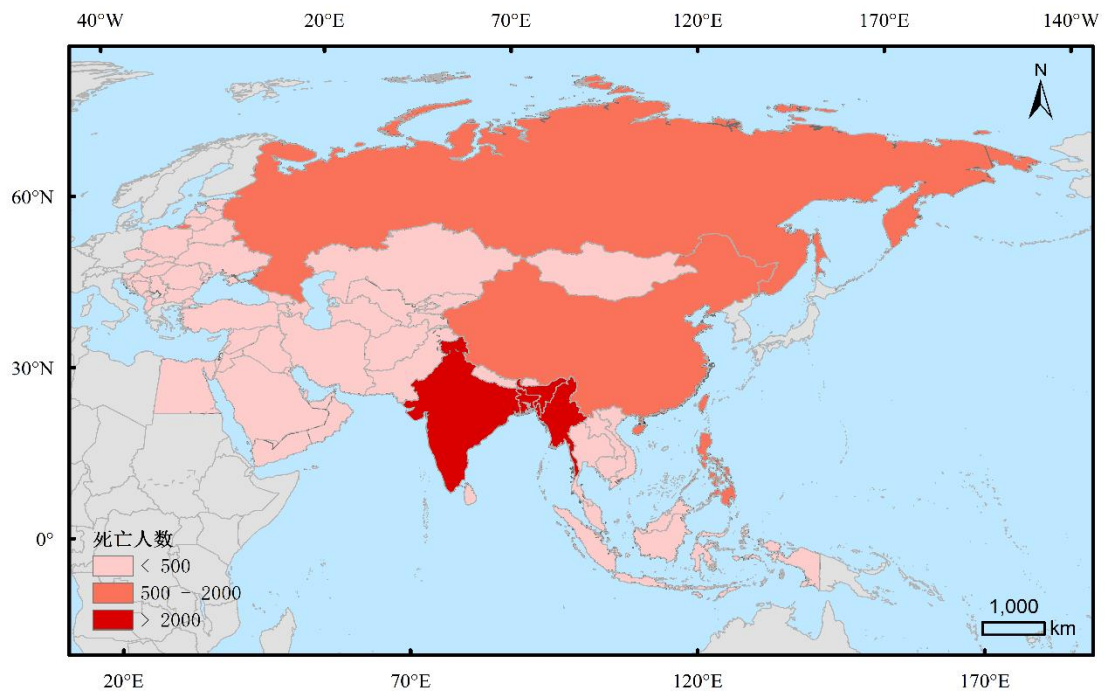


图 14 1980~2022 年“一带一路”区域多年平均气象灾害死亡人数空间分布（数据来源于 EM-DAT）

总体上看，东亚、西亚北非、中亚和中东欧地区的大部分国家气象灾害发生次数偏少，而在南亚及东南亚地区的国家，则台风、暴雨和洪涝等气象灾害发生次数较多。这是由于南亚地区夏季受印度夏季风从印度洋上带来诸多水汽的影响，容易产生大范围的暴雨洪涝灾害，易造成较大的财产损失和人员伤亡。例如，2004 年 12

月，印度洋 9.3 级地震引发海啸所导致的洪涝灾害，造成严重的生命和财产损失；2015 年 12 月，印度遭受 21 世纪最强暴雨袭击，大范围的洪涝灾害造成巨大的损失和人员伤亡。南亚地区冬季，来自西伯利亚的干冷空气吹向印度半岛，导致降水变少、造成大面积干旱。

东南亚地区毗邻印度洋和太平洋，受台风影响较为严重。例如 2008 年 5 月，台风“纳吉斯”登陆缅甸，造成巨大的生命和财产损失；2010 年 10 月，东南亚连遭台风袭击，泰国近 3/4 领土被洪水侵袭，超过 81 万公顷农田受灾，大量稻田颗粒无收。中东欧和西亚北非地区大部分国家一方面由于经济水平较高，灾害抵御能力较强，另一方面气象灾害发生次数相对较少，因此灾害经济损失和死亡人数也相对较低。

中国、印尼等国的经济损失高及死亡人数多，但由于其较高的 GDP 总量和人口数量，因此，经济损失和死亡人数占比相对较低。而西亚、北非和中东欧地区部分国家，虽然经济损失和死亡人数相对不高，但其 GDP 总量和人口数量的占比则相对较高，因此灾害的影响往往要超过其他国家和地区。例如，巴林气象灾害多年平均的经济损失绝对值低于“一带一路”区域的平均值，但相当于本国 GDP 的 50%以上（姜彤等，2020）。

3 未来气候风险

气候变化已经给全球自然生态系统和人类社会造成了广泛而深刻的影响。“一带一路”区域地跨热带、亚热带、干旱和半干旱地区，其中大多数为发展中国家，且经济发展水平存在显著差异。由于农村人口众多、基础设施脆弱、适应能力薄弱等因素，“一带一路”地区的国家极易受到气候变化的影响。如果不采取有力措施，到2050年，海上丝绸之路沿线地区将会有14个国家跻身于因海平面上升造成经济损失最大的20个国家之列。

3.1 未来气候变化

3.1.1 气温

在RCP2.6情景下，“一带一路”区域平均气温的变化趋势没有明显的季节性差异；RCP4.5情景下，冬季的变暖趋势比夏季和年平均的更为明显，尤其是在高纬度地区；RCP8.5情景下，平均气温的升温趋势最明显，尤其独联体和北亚地区的冬季变暖趋势最为显著，平均升温速率超过 $0.8^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，其余地区的升温速率为 $0.6^{\circ}\text{C}/10\text{a} \sim 0.8^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。夏季气温升温趋势的空间分布较为一致，变化速率为 $0.5^{\circ}\text{C}/10\text{a} \sim 0.7^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ （图15）。年平均气温的变化趋势类似于冬季气温的变化趋势，意味着冬季气温的升高在年平均气温的增幅中占着主导地位。

相对于1986~2005年，在21世纪近期、中期和末期，“一带一路”区域年平均气温都呈上升趋势。从21世纪近期到末期，气候变暖趋势逐渐加剧，而且温室气体排放越多，气候变暖的幅度越大，高纬度地区增暖幅度明显大于低纬度地区的增暖幅度。在RCP2.6情景下（图16a-c），预计21世纪近期温度将升高 $0.5 \sim 2^{\circ}\text{C}$ ，到21世纪末将进一步升高至 $1 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 。在RCP8.5情景下，平均气温到21世纪末期将普遍升高 5°C 以上（图16i）。其中，北亚地区的变暖幅度最大，达到 6.5°C 以上，而南亚和东南亚地区的变暖幅度最小。

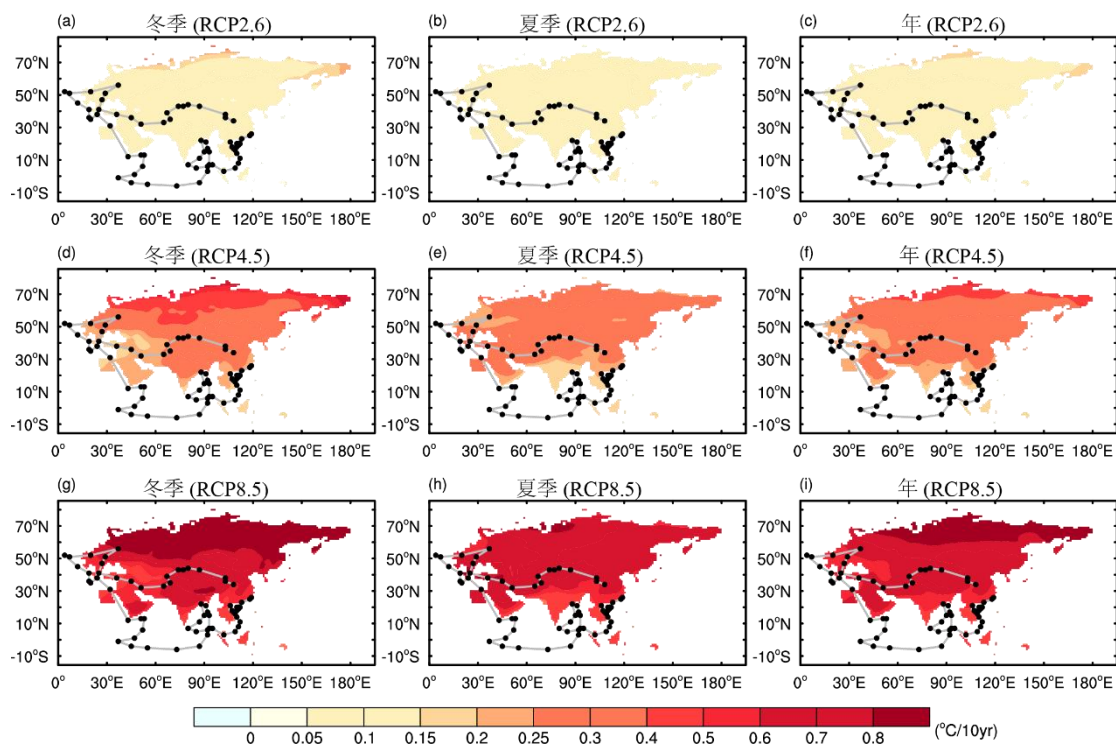


图 15 多模式集合预估的“一带一路”区域 RCP2.6 (a-c)、RCP4.5 (d-f) 和 RCP8.5 (g-i) 情景下 2006~2100 年冬季 (a, d, g)、夏季 (b, e, h) 和年平均 (c, f, i) 气温变化趋势 (单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)。图中粗线和黑点表示一带一路的路线和重要节点城市, 下同 (周波涛等, 2020)

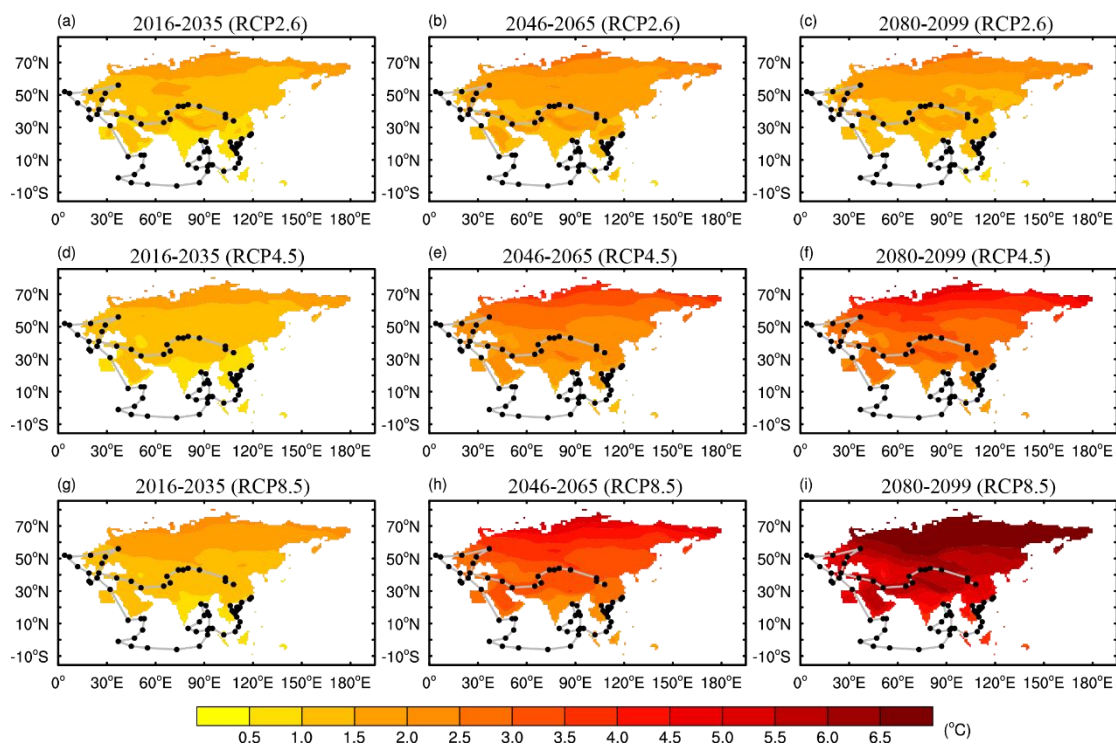


图 16 多模式集合预估的“一带一路”区域 RCP2.6 (a-c)、RCP4.5 (d-f) 和 RCP8.5 (g-i) 情景下 2016~2035 年 (a, d, g)、2046~2065 年 (b, e, h) 和 2080~2099 年 (c, f, i) 的年平均气温变化 (单位: $^{\circ}\text{C}$; 相对于 1986~2005 年) (周波涛等, 2020)

3.1.2 降水

与平均温度变化相比，“一带一路”区域的降水变化相对较为复杂。相对于1986~2005年，尽管“一带一路”大多数地区的降水量在未来三个时段整体都将呈增多趋势，但不同时期和不同RCP情景下存在明显区域差异。例如21世纪近期，RCP8.5情景下西亚和北亚地区的降水量增加幅度最为明显，分别增加18%和10%，东亚降水量总体上也将增加，而在长江流域南部会减少约5%（图17g）。21世纪中期，RCP2.6情景下西亚地区的降水将增加22.5%，北亚地区将增加19%，中国西部年降水量也将增加10%（图17b），且增加的幅度略大于RCP4.5（图17e）和RCP8.5（图17h）情景下的增幅。21世纪末期，情况则相反，RCP8.5情景下降水量的增加幅度（图17i）要大于RCP2.6（图17c）和RCP4.5情景（图17f）下的增幅。

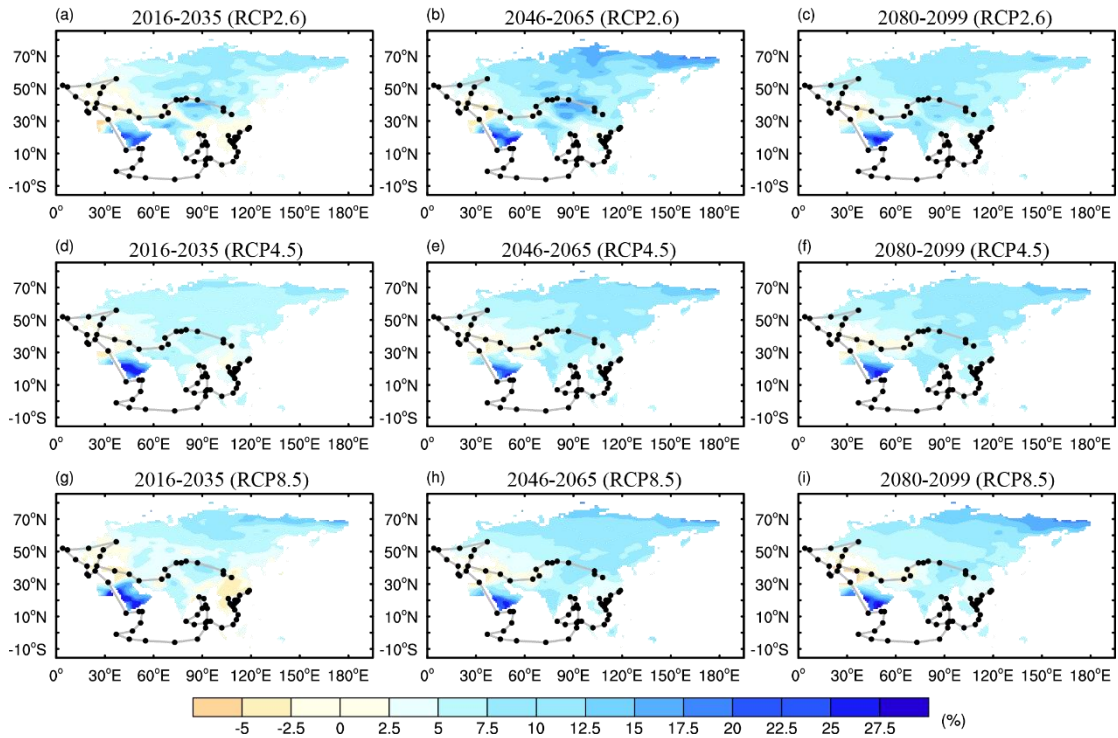


图17 多模式集合预估的“一带一路”区域RCP2.6 (a-c)、RCP4.5 (d-f) 和RCP8.5 (g-i) 情景下2016~2035年 (a, d, g)、2046~2065年 (b, e, h) 和2080~2099年 (c, f, i) 降水量的相对变化 (单位: %; 相对于1986~2005年) (周波涛等, 2020)

3.2 未来气象灾害风险

“一带一路”范围广阔，是未来气候变化的敏感区域，极端事件发生频繁，很

可能导致自然灾害风险加重，损害生态系统，影响粮食生产。严峻的气象灾害风险将对区域内未来重大工程建设安全产生重大影响。气候变化背景下，极端天气气候事件频度和强度趋于增加，升温导致的冰雪消融会增大滑坡、泥石流和冰湖溃决风险；加之强地震趋于活跃，集中高强度激发山地灾害的概率增大；此外，大规模工程建设也很可能会改变当地原有孕灾环境并诱发灾害(姜彤等, 2020; 徐鹤等, 2016)。部分地区径流深的变化会增加极端事件，从而很可能导致灾害事件的发生，并影响到生态系统和粮食生产。陆域环境气候-水文要素变化显著，变化的结果最有可能增加高温热浪、干旱、洪涝等重大自然灾害(吴绍洪等, 2019)。

3.2.1 高温

RCP8.5 情景下，未来高温风险最高的地区主要分布在南亚、非洲等欠发达或发展中国家和地区；21 世纪末，94%的非洲人口和 72%的亚洲人口将会面临高温热浪风险，21 世纪欧洲面临高温热浪风险的人口数量也呈增加趋势。“一带一路”陆域未来高温热浪高危险区主要分布在中国东部季风区南部、中国西北干旱区西部、中亚西亚干旱区北部、东南亚温暖湿润区以及中东欧寒冷湿润区南部部分地区；中危险区主要分布在中国东部季风区西部、孟印缅温暖湿润区东部、巴基斯坦干旱区西部和中亚西亚干旱区中南部(图 18a)。高温热浪危害人体健康，增加疾病和死亡的风险，影响农林牧业生产，加重干旱程度，造成农作物生长受损。高温热浪强度增加比全球高约 0.5~1.5℃，尤其在地中海沿岸和中亚地区，高温热浪强度增幅更大。未来“一带一路”部分区域降水减少，气候暖干化趋势可能导致危害更严重的高温热浪事件。

3.2.2 干旱

干旱高危险区主要分布在中东欧寒冷湿润区西部、中亚西亚干旱区北部、巴基斯坦干旱区东北部、东南亚温暖湿润区部分地区、青藏高原区、中国西北干旱区西部和中国东部季风区南部；中危险区主要分布在中东欧寒冷湿润区东北部、蒙俄寒冷干旱区中西部、孟印缅温暖湿润区南部(图 18b)。

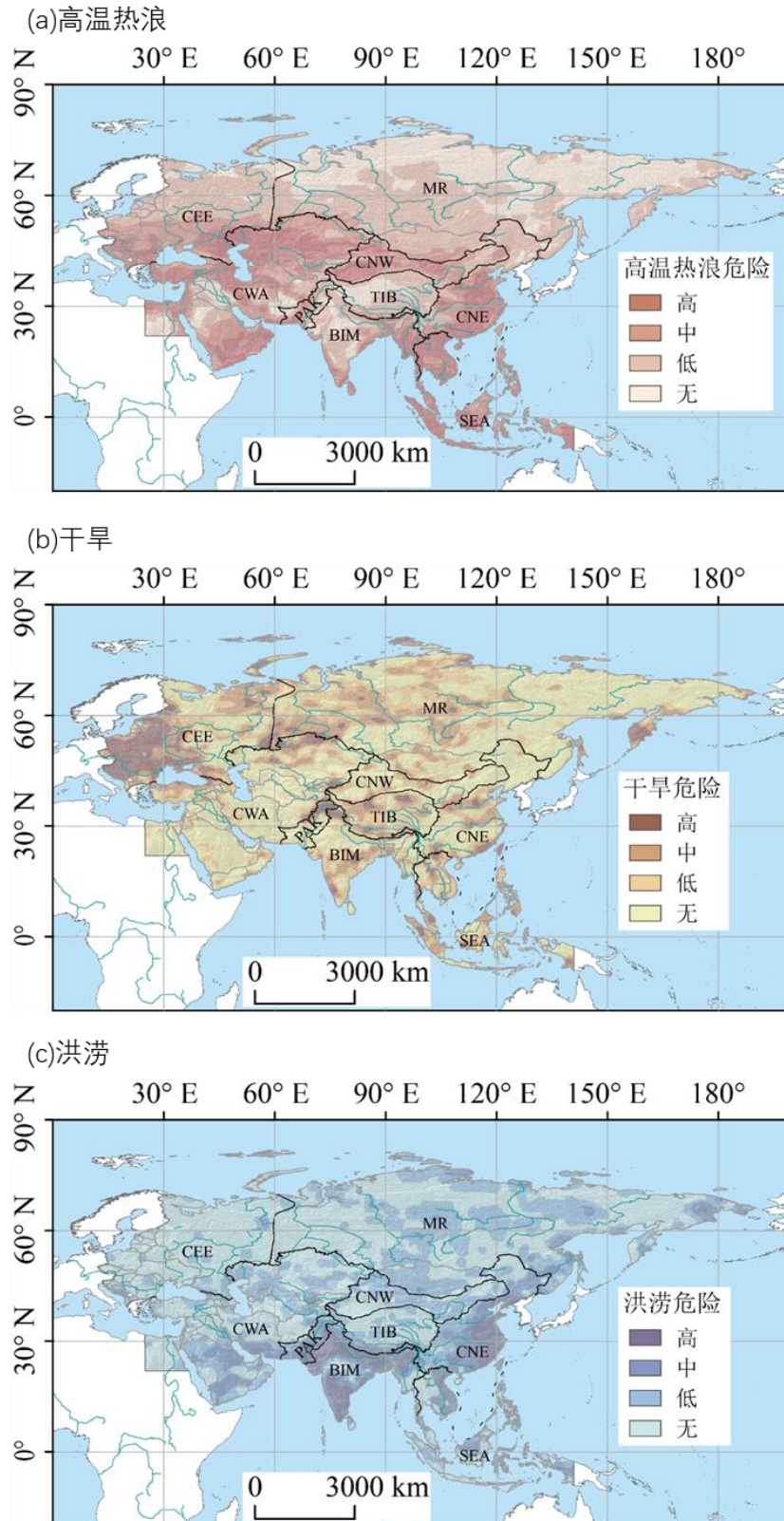


图 18 “一带一路”陆域 RCP8.5 情景下未来 (2021 ~ 2050 年) 极端事件 (a: 高温热浪; b: 干旱; c: 洪涝) 危险空间分布 (吴绍洪等, 2019)。图中分区的缩写为: 中东欧寒冷湿润区 (CEE)、蒙俄寒冷干旱区 (MR)、中亚西亚干旱区 (CWA)、东南亚温暖湿润区 (SEA)、巴基斯坦干旱区 (PAK)、孟印缅温暖湿润区 (BIM)、中国东部季风区 (CNE)、中国西北干旱区 (CNW)、青藏高原区 (TIB)

预计未来“一带一路”沿线区域旱灾发生频率将会明显增多。其中，亚洲部分地区预计到 2090 年，中等（极端）农业干旱的发生频率将提高 50%~100%（100%~200%），大部分地区的水文干旱发生频率将提高 10%~50%（Ukkola et al., 2018）。与此同时，“一带一路”沿线区域的干旱面积将显著扩张，干旱严重程度将会进一步加剧（Zhao and Dai, 2015）。研究指出，造成这些变化的主要原因是降水的减少以及蒸发的加强。此外，干旱半干旱区的增温趋势显著高于湿润区，气候变暖、干旱加剧和人口增长的共同作用将增加沿线区域发生荒漠化的风险，从而进一步扩大经济发展的区域差异（Huang et al., 2016）。干旱事件会造成经济损失、生态退化和社会动荡等一系列问题。在气候增暖的背景下，“一带一路”陆域干旱事件发生频率更高、持续时间更长、影响的范围更大，对粮食生产、水资源、生态和社会经济的影响也更为严重。

3.2.3 洪水、滑坡和泥石流

洪涝高危险区主要出现在孟印缅温暖湿润区南部和北部、中国东部季风区东部和巴基斯坦干旱区南部；中危险区主要出现在蒙俄寒冷干旱区东部、中国东部季风区西部和北部、东南亚温暖湿润区部分地区、巴基斯坦干旱区北部和中亚西亚干旱区南部地区（图 18c）。洪涝事件破坏人类生存环境和生物生长环境，造成人民生命财产和社会经济损失。“一带一路”陆域未来洪涝事件强度随着增暖逐渐增强，尤其在中低纬地区，降水强度大，危害范围广，暴露范围的增加预示着明显增暖前采取适应措施的必要性。

未来滑坡泥石流灾害将高发，重灾区主要分布在中国长江流域以南、西南山区，东南亚的印度尼西亚、菲律宾、喜马拉雅山脉附近、印度西部沿海一带国家，中亚的高加索山脉等地。到 21 世纪中期，欧亚大陆大部分地区发生频次增加，末期稍有减少，但喜马拉雅山脉附近增加（王会军等，2020）。

3.2.4 冰冻圈灾害

预计未来，冰冻灾害对绿洲农业、居民财产和经济社会发展造成了巨大危害。未来冰冻圈变化带来的灾害频率和风险有可能进一步增大。高加索山区以雪、冰、岩崩为主，喀喇昆仑山、兴都库什-喜马拉雅山、念青唐古拉山以冰湖溃决洪水、泥

石流为主，中亚天山则以冰、雪洪水灾害为主，中巴经济走廊则以冰川跃动灾害潜在风险为主（王会军等，2020）。青藏高原和蒙古高原以牧区雪灾为主，西伯利亚、青藏高原、中国东北主要以冻融灾害为主。西伯利亚远东公路中，大约五分之一路段由于冻土冻胀和融沉而变形。在气候变暖背景下，冰冻圈加速变化，冰冻圈不稳定性增加，进而使冰冻圈事件频发，沿线冰冻圈灾害频率及其潜在风险巨大。

3.2.5 热带气旋

“一带一路”沿线两个海域（西北太平洋和北印度洋海域）热带气旋活动未来呈现出大致类似的特征：（1）强热带气旋比例将会增加。相应地，热带气旋引发的极端降水将显著增多，进而提高暴雨、山体滑坡、风暴潮等气象灾害风险（Knutson et al., 2020）。（2）未来热带气旋生成频率的变化存在较大不确定性，大部分研究表明热带气旋生成频率会减少（Wu et al., 2014），但也有一部分研究指出热带气旋生成频率将会增多（Emanuel et al., 2021）。（3）西北太平洋热带气旋移动路径以及达到最大强度所在位置将继续北移，这将进一步提高台风登陆中国北部、日本以及韩国的风险（Kossin and Camargo, 2016）。（4）热带气旋快速加强的概率会大大增加，这将给台风防灾减灾带来重大挑战（Emanuel et al., 2021）。（5）热带气旋的传播速度将会变慢，这也是造成热带气旋极端降水增多的原因之一（Wu et al., 2020）。

参考文献

- Eckstein D, Künzel V, Schäfer L. 2021. Global Climate Risk Index 2021. Germanwatch.
- Emanuel K. 2021. Response of Global Tropical Cyclone Activity to Increasing CO₂: Results from Downscaling CMIP6 Models. *Journal of Climate*, 34(1): 57-70.
- Huang J, Yu H, Guan X, et al. 2016. Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature Climate Change*, 6: 166-171.
- Knutson, T, Camargo S J, Chan J C L, et al. 2020. Tropical cyclones and climate change assessment: Part II: Projected response to anthropogenic warming. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 101: E303-E322.
- Kossin, J P and Camargo S J. 2016. Past and projected changes in western North Pacific tropical cyclone exposure. *Journal of Climate*, 29: 5725-5739.
- Ukkola A M, Pitman A J, De Kauwe M G, et al. 2018. Evaluating CMIP5 Model Agreement for Multiple Drought Metrics. *Journal of Hydrometeorology*, 19(6): 969-988.
- Wu L, Chou C, Chen C T, et al. 2014. Simulations of the present and late Twenty-First-Century Western North Pacific tropical cyclone activity using a regional model. *Journal of Climate*, 27: 3405-3424.
- Wu L, Wen Z, Huang R. 2020. Tropical cyclones in a warming climate. *Science China Earth Sciences*, 63: 456-458.
- Zhao T and Dai A. 2015. The magnitude and causes of global drought changes in the Twenty-First Century under a Low-Moderate Emissions Scenario. *Journal of Climate*, 28(11): 4490-4512.
- 黄晓晖. 2019. 一带一路区域未来气候变化多情景分析. 华东师范大学.
- 姜彤, 谈科, 王艳君, 等. 2020. “一带一路”区域气象灾害时空变化特征. *科技导报*, 38(8): 57-65.

- 王会军, 唐国利, 陈海山, 等. 2020. “一带一路”区域气候变化事实、影响及可能风险. 大气科学学报, 43(1): 6-14.
- 吴绍洪, 刘路路, 高江波, 等. 2019. “一带一路”陆域环境格局与环境变化风险. 地理学报. 29(4): 483-495.
- 徐鹤, 齐曼古丽·依里哈木, 姚荣, 等. 2016. “一带一路”战略的环境风险分析与应对策略. 中国环境管理, 8(2): 36-41.
- 周波涛, 徐影, 韩振宇, 等. 2020. “一带一路”区域未来气候变化预估. 大气科学学报, 43(1): 255-264.